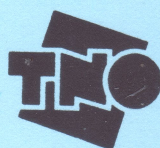
SYMPOSIUM

KENNISSYSTEMEN BINNEN TNO

Nederlands Congresgebouw
Den Haag
12 mei 1989



SYMPOSIUM

KENNISSYSTEMEN BINNEN TNO

Nederlands Congresgebouw
Den Haag
12 mei 1989

Redaktie : A.M.Schaafstal
J.M.C.Schraagen
G.Wagenaar

Apeldoorn, mei 1989

VOORWOORD

Expert- of kennissystemen staan de laatste jaren nogal in de belangstelling. Dat is niet zo verbazingwekkend. Een computerprogramma, of beter, informatiesysteem dat in staat is een oplossing voor een probleem te bereiken, op dezelfde wijze waarop een menselijke deskundige dat doet, door te redeneren, en dat net als die deskundige kan uitleggen hoe een bepaalde konklusie bereikt is, spreekt tot de verbeelding. De ontwikkeling en toepassing van expert- of kennissystemen lijkt ee grote stap op weg naar een (mee)denkende computer.
In de Verenigde Staten en Engeland, waar men op het gebied van expert- of kennissystemen voorop loopt, is, getuige een hele reeks handboeken en inventarisaties, langzamerhand een zeer groot aantal expert- of kennissystemen ontwikkeld en in gebruik. Na eerste toepassingen op het gebied van medische diagnose zijn systemen ontwikkeld voor sterk uiteenlopende zaken als het beoordelen van de kredietwaardigheid van een klant bij American Express, het samenstellen en uitleveren van computerconfiguraties (DEC), het ondersteunen van onderhoudsmonteurs bij het voorkomen en oplossen van storingen in dieselmotoren (General Electric), het ondersteunen van experts bij het zoeken naar ertsvoorkomens (SRI), het uitvoeren van ingewikkelde wiskundige berekeningen of analyses (MIT) en de verkeersafwikkeling met verkeerslichten (ITS).
In Nederland is het aantal pilot-systemen en in de praktijk gebruikte kennissystemen nog gering. Het merendeel van het onderzoek bevindt zich in het stadium van eerste prototypes en het verkennen en uitwerken van een goede methodologie voor het ontwikkelen van kennissystemen. Het aantal bedrijven dat ervaring heeft met het ontwikkelen van grotere pilotsytemen of inmiddels in de praktijk gebruikte systemen is klein.
In TNO is zo'n vijf jaar geleden binnen een groot aantal van de 31 instituten een begin gemaakt met het verkennen van de mogelijkheden van expert- of kennissystemen. Oorspronkelijk toevallige kontakten tussen de betrokken TNO-medewerkers hebben al snel geleid tot een geregelde uitwisseling van kennis en ervaring in bijeenkomsten van de CKS-TNO (Contactgroep KennisSystemen).
Wat bij de meeste TNO-instituten als een voorzichtige verkenning begon heeft inmiddels geleid tot de ontwikkeling van een werkgebied waarop zo'n 64 medewerkers werkzaam zijn met een jaarlijkse omzet van vijf miljoen gulden, waarvan een kleine zeventig procent in de vorm van opdrachten gerealiseerd wordt. De toepassingen bestrijken de volle breedte van de binnen TNO verzamelde deskundigheid. Na een eerder symposium intern TNO leek medio 1988 de tijd gekomen om de inmiddels ontwikkelde pilot-systemen en praktijktoepassingen aan een groter publiek te laten zien en de daarbij opgedane kennis en ervaring voor een grotere groep toegankelijk te maken. Dit heeft geleid tot de organisatie van het symposium "Kennissystemen binnen TNO" dat op 12 mei 1989 in Den Haag plaatsvindt. In deze bundel zijn de bijdragen van de verschillende TNO-medewerkers aan die dag bij elkaar gebracht. De bundel geeft daarmee een goed beeld van het werk aan expert- of kennissystemen binnen de verschillende instituten van TNO anno 1989.

Dree Op 't Veld,
voorzitter CKS-TNO

INHOUDSOPGAVE

DE TOEPASBAARHEID VAN TECHNIEKEN VOOR KENNISELICITATIE

H.H. Bogers en A.M. Schaafstal

Projectgroep Bedrijfskunde PGB-TNO

Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

J.M.C. Schraagen

Instituut voor Zintuigfysiologie IZF-TNO

Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

SAMENVATTING

Kenniselicitatie is een belangrijk aspect van het ontwikkelen van een expertsysteem. Naast veel gebruikte technieken als interviews en protocolanalyse bestaat er een grote behoefte aan het ontwikkelen van meer efficiënte en effectieve methoden voor kenniselicitatie. In recente literatuur wordt gesuggereerd dat schaaltechnieken een potentieel zeer bruikbare elicitatie-techniek zijn. In dit onderzoek zijn schaaltechnieken zijn vergeleken met protocolanalyse en interviews wat betreft informatie-inhoud en efficiëntie. Gebleken is dat schaaltechnieken een goede aanvulling vormen op de beide andere technieken. Tevens kwam naar voren dat er nauwelijks sprake is van duplicatie van de informatie die elke techniek oplevert.

1. INLEIDING

Eén van de eerste opmerkingen in artikelen over kenniselicitatie betreft veelal een kwalificatie van het proces van kenniselicitatie. Enerzijds wordt dit proces vaak aangemerkt als de "bottleneck" bij het ontwikkelen van een kennissysteem, maar anderzijds wordt deze kwalificatie van kenniselicitatie door anderen als een schromelijke overdrijving beschouwd. Het feit blijft dat het proces van kenniselicitatie één van de interessantste, zoniet hèt interessantste, aspect is aan de ontwikkeling van een kennissysteem.

Naast de vele intermenselijke problemen die kunnen optreden bij kenniselicitatie, zoals gebrek aan communicatie tussen expert en

"knowledge engineer" of gebrek aan enthousiasme van de kant van de expert [zie ook Welbank, 1983] is er een tweetal meer technische factoren die kenniselicitatie kunnen bemoeilijken. Deze zijn:
- het feit dat er verschillende soorten kennis bestaan die voor succesvolle elicitatie een andere techniek vereisen,
- het gegeven dat experts bepaalde delen van hun kennis, met name geautomatiseerde kennis, moeilijk kunnen verbaliseren.

Veelal wordt er bij de beschrijving van kennis een door Anderson [Anderson, 1983] aangegeven onderscheid gebruikt. Anderson onderscheidt:
- declaratieve kennis: weten wat, beschrijvingen van objecten, hun eigenschappen en onderlinge relaties,
- procedurele kennis: weten hoe, kennis die aangeeft hoe uit declaratieve kennis en invoergegevens nieuwe kennis is af te leiden.

Protocolanalyse, een uit de psychologie bekende techniek waarbij iemand hardop moet denken tijdens de uitvoering van een taak, kan gezien worden als een techniek die met name procedurele kennis oplevert, d.w.z. kennis over hoe iemand een bepaald probleem oplost, de probleemoplossingsstrategieën die iemand gebruikt.

Problemen op het gebied van kenniselicitatie hebben ertoe geleid dat op veel plaatsen aan onderzoek op dit gebied wordt gedaan. Deze onderzoeken betreffen dan veelal de analyse van verschillende elicitatietechnieken. Ten aanzien van een aantal van deze onderzoeken zijn nogal wat bezwaren aan te dragen.

Door Burton, Shadbolt, Hedgecock en Rugg [Burton e.a., 1987] is in een experimentele studie een viertal verschillende elicitatietechnieken vergeleken. Hierbij is een onderscheid gemaakt in technieken die voornamelijk procedurele kennis en technieken die voornamelijk declaratieve kennis eliciteren. De geëvalueerde technieken zijn formeel interview, protocolanalyse, laddered grid en card sorting. De eerste twee technieken, formeel interview en protocolanalyse zouden vooral procedurele kennis opleveren, de laddered grid en card sort techniek vooral declaratieve kennis. De kenniselicitatie in dit experiment was gericht op representatie van kennis in de vorm van productieregels en als afhankelijke variabelen zijn genomen:
- de tijd nodig voor een elicitatie-sessie,
- de tijd nodig om een verslag van een sessie om te zetten in een set regels,
- het aantal geëliciteerde regels,
- het aantal premissen in een geëliciteerde regel,
- compleetheid van de regelset, d.w.z een vergelijking van de regelset met een 'golden standard', een regelset gemaakt door een expert.

Voor het gebruik van elicitatietechnieken in de praktijk is het onderzoek van Burton e.a. echter niet geheel representatief. Ten eerste kan in de praktijk vaak niet een golden standard worden aangewezen. Ten tweede worden in dit onderzoek voor elicitatie beginnelingen gebruikt, terwijl kenniselicitatie in de praktijk vaker plaatsvindt met experts. Aangezien beginnelingen minder gebruik maken van geautomatiseerde kennis, en dus hun kennis nog redelijk goed onder woorden kunnen brengen, kunnen de resultaten van met name de protocolanalyse enigszins vertekend worden. Wat betreft het 'aantal geëliciteerde regels' als afhankelijke variabele kan als bezwaar

aangemerkt worden dat dit te sterk gericht is op implementatie van kennis op een specifieke wijze, namelijk in de vorm van productieregels.

Schweickert, Burton, Taylor, Corlett, Shadbolt en Hedgecock [Schweikert e.a., 1987] hebben een onderzoek gedaan waarin een drietal technieken zijn vergeleken; gestructureerd interview, card sorting en 20-vragen. Uit de uitgewerkte sessieverslagen werden als-dan regels gedestilleerd. Tijdens zowel het interview als de 20-vragen techniek trachtte de interviewer, wanneer hij dacht dat er impliciet of expliciet een regel genoemd werd, deze samen te vatten en vroeg de expert of ze het hiermee eens was. Soms vroeg de interviewer expliciet aan de expert om het geformuleerde in de vorm van een als-dan regel weer te geven. Als bezwaar ten aanzien van dit onderzoek van Schweickert e.a. kan opgemerkt worden dat het in de praktijk niet altijd mogelijk of wenselijk is om een expert te vragen zijn of haar kennis in regels te verwoorden.

Om een beter gefundeerde vergelijking tussen elicitatietechnieken in de praktijk te kunnen maken voor wat betreft mogelijkheden en beperkingen is een experiment opgezet zoals hieronder beschreven. Getracht is om aan bovengenoemde bezwaren tegen andere studies tegemoet te komen zodat een praktijksituatie beter benaderd wordt. Daartoe zijn als proefpersonen echte experts gebruikt in plaats van beginnelingen, de expertisegebieden kennen geen zogenaamde golden standard en de expert mag zijn kennis naar eigen voorkeur verwoorden, dus niet slechts in de vorm van regels.

2. METHODE

Het onderzoek is uitgevoerd door middel van het toepassen van drie verschillende technieken voor kenniselicitatie bij het elicitatieproces bij twee TNO-experts. Het onafhankelijk testen van de drie technieken werd bereikt door drie subdomeinen in het kennisdomein van elke expert te onderscheiden. De eisen die aan de subdomeinen gesteld waren zijn:
- ze moesten vergelijkbaar zijn qua soort expertise die een rol speelt,
- ze moesten onderscheidbaar zijn in de zin van een afgebakend probleemgebied.

De gebruikte technieken waren:
- Interviews: gestructureerd
- Protocolanalyse
- Schaaltechnieken: hiërarchische clusteranalyse.

Schaaltechnieken zijn gebaseerd op schattingen van psychologische afstand tussen begrippen. Bij het gebruik van schaalanalyse wordt aan personen gevraagd paarsgewijze vergelijkingen te maken van een set begrippen die in een bepaald kennisdomein een rol spelen. Van elke combinatie van twee begrippen uit deze set moet een persoon aangeven, op een schaal van bijvoorbeeld 1 tot 10, hoe groot hij de samenhang tussen deze twee begrippen vindt. Psychologische afstand wordt hierbij gezien als de inverse van samenhang: naarmate de begrippen meer met elkaar samenhangen wordt de psychologische afstand kleiner. Deze gegevens worden verwerkt d.m.v. een hiërarchische clusteranalyse,

waarbij de begrippen in clusters op verschillende nivo's worden gegroepeerd. Clusters op het laagste nivo bevatten begrippen die onderling de meeste samenhang vertonen; op hogere nivo's wordt de samenhang allengs vager, totdat alle begrippen uiteindelijk onder één noemer te vangen zijn, namelijk die van het betreffende kennisdomein.

Naast deze drie technieken werd aan het begin van het elicitatieproces aan de experts gevraagd een les te geven om zo een eerste indruk te krijgen van hun kennisdomein.

Het onderzoek bestond uit drie fasen:

sub	eerste fase	tweede fase	derde fase
1		interview	protocolanalyse schaalanalyse
2	initieel interview les algemene schaalanalyse	protocolanalyse	interview schaalanalyse
3		schaalanalyse	interview protocolanalyse

In de eerste fase werden een initieel interview, een les en een algemene schaalanalyse afgenomen, deze laatste mede om te trachten aan de hand hiervan de subdomeinen te bepalen. In de tweede fase werd op elk subdomein één van de drie technieken nader uitgewerkt waarbij de toewijzing van techniek aan subdomein volledig willekeurig geschiedde. De begrippen die nodig waren voor de schaalanalyse op subdomein drie werden geselecteerd uit een voorafgaand interview.

Nadat op elk subdomein één techniek was toegepast zijn in de derde fase de beide andere technieken (die in eerste instantie niet op dat subdomein zijn gebruikt) alsnog op elk subdomein toegepast voor kenniselicitatie. Een uitzondering op deze volgorde vormde subdomein drie. Als interview (in de derde fase) gold daar het interview dat in de tweede fase is gehouden ten behoeve van het verkrijgen van de begrippen voor de schaalanalyse. Op subdomein twee werd in de derde fase nog een interview en schaalanalyse afgenomen waarbij de begrippen voor de schaalanalyse geselecteerd zijn uit het interview. De begrippen voor de schaalanalyse op subdomein één in de derde fase zijn geselecteerd uit het interview op dit subdomein in de tweede fase.

De derde fase had tot doel te kunnen nagaan wat er na toepassen van één techniek nog aan informatie toegevoegd werd door de twee andere technieken.

Nadat verschillende technieken waren uitgeprobeerd is per techniek getoetst hoeveel kennis deze opleverde en werd geëvalueerd hoe efficiënt elke techniek in praktijkgebruik bleek te zijn. In dit onderzoek is gekozen voor een operationalisatie van het begrip informatieinhoud die los staat van eventuele implementatie van de kennis en sterk aansluit bij de oorspronkelijke data:
- het aantal concepten dat met elke techniek gevonden werd,

- het aantal relaties tussen concepten dat met elke techniek gevonden werd.
- de unieke bijdrage van elke techniek, d.w.z hoeveel informatie een techniek levert die niet door de beide andere technieken naar voren is gebracht.

Als operationalisatie van efficiëntie in praktijkgebruik gold:
- de voorbereidings-, afname- en uitwerkingstijd die een techniek kost in relatie tot het aantal concepten en relaties die deze techniek opleverde,
- hoe de techniek werd ervaren door de expert.

Om vast te kunnen stellen hoe de expert een sessie ervaarde is een vragenlijst opgesteld die de expert na elke sessie invult. Door middel van deze vragenlijst werd tevens nagegaan welke indruk de expert zelf heeft wat betreft de hoeveelheid informatie die hij overdraagt. In de literatuur wordt gesuggereerd dat de subjectieve indruk van de expert wat betreft de informatie die hij overdraagt niet altijd overeenkomt met wat een techniek in werkelijkheid oplevert. Zo zou bij het structureren van kennis op enigszins ongebruikelijke wijze, zoals bijvoorbeeld in een schaalanalyse, de expert zelf het idee kunnen hebben dat dit weinig informatie oplevert terwijl dat objectief gezien niet het geval is. De vragenlijst bestaat uit een drietal vragen die betrekking hadden op:
- hoe (on)aangenaam de expert de sessie vondt,
- hoe inspannend de expert de sessie vondt,
- hoeveel informatie de expert dacht dat hij in de sessie had kunnen overdragen.

3. RESULTATEN EN DISCUSSIE

In overleg met de experts is na de eerste fase vastgesteld welke indeling in subdomeinen ertoe zou leiden dat de subdomeinen enerzijds vergelijkbaar en anderzijds onderscheidbaar zouden zijn. Vergelijkbaar wat betreft soort expertise die in de subdomeinen een rol speelt en onderscheidbaar in de zin van een afgebakend probleemgebied. Dit leidde voor expert 1 en expert 2 tot de volgende subdomeinen:

EXPERT 1: "Brandgedrag van textielmaterialen".

1) Brandbaarheid van beddegoed en matrassen.
2) Brandbaarheid van tapijten en meubelen.
3) Brandbaarheid van gordijnen en kleding.

EXPERT 2: "Het maken van kleding".

1) Het maken van kinderkleding.
2) Het maken van dameskleding.
3) Het maken van herenkleding.

De bandopnames van de sessies zijn uitgewerkt en de uitgewerkte sessieverslagen zijn door twee personen onafhankelijk van elkaar gescoord op aantallen concepten en relaties. Verschillen in beoordeling zijn opgelost door als totaal aantal concepten en relaties de vereniging van de verzameling van concepten en relaties van beide

beoordelaars te nemen. Hiervoor is gekozen toen bleek dat de beide beoordelaars het na het bediscussiëren van enkele sessieverslagen over bijna alle concepten en relaties eens waren. Bij het bepalen van het aantal concepten en relaties is voor de hiërarchische clusteranalyse uitgegaan van de bespreking van de clusteranalyse met de expert.

In de onderstaande tabel (tabel 1) staan aantallen concepten en relaties voor de eerste fase, d.w.z voor het initiële interview, de les en de algemene schaalanalyse.

	EXPERT 1		EXPERT 2	
	concepten	relaties	concepten	relaties
INIT. INTERVIEW	40	84	34	30
LES	93	148	61	61
ALG. SCHAALANALYSE	49	74	53	50

Tabel 1. Aantal concepten en aantal relaties per expert en per techniek in de eerste fase.

Wat opvalt in de eerste fase is dat bij beide experts de les zeer veel concepten en relaties opleverde. Een les kon zowel bestaan uit een soort lezing over kennis en werkzaamheden van de expert als uit een rondleiding op de werkplek van de expert. Gezien het aantal concepten en relaties kan vooralsnog worden aangenomen dat een les een vrij effectieve wijze van kenniselicitatie is.

De algemene schaalanalyse leverde redelijk veel concepten en relaties op. De algemene schaalanalyse was de eerste schaalanalyse tijdens het elicitatieproces en deze schaalanalyse was gebaseerd op een brede keuze aan begrippen. Zowel zeer algemene begrippen als meer vakspecifieke begrippen werden bij deze schaalanalyse gebruikt. Dit leverde aan de ene kant redelijk veel informatie op, maar maakte aan de andere kant duidelijk dat de keuze van begrippen voor de schaalanalyse van cruciaal belang is, want met name algemenere begrippen kunnen interpretatieproblemen geven tijdens een schaalanalyse. Een expert kan de neiging hebben om vaktechnische termen te vermijden, omdat hij denkt dat de knowledge engineer deze termen niet begrijpt, en meer algemene, populaire termen gebruiken. Maar juist algemene termen kunnen bij de afname van de schaalanalyse problemen opleveren, omdat ze op verschillende manieren geïnterpreteerd kunnen worden en de context waarin het begrip tijdens een interview is genoemd bij afname van een schaalanalyse ontbreekt. De algemene schaalanalyse maakte onder andere duidelijk dat er bij

latere schaalanalyses gestreefd moest worden naar een set van begrippen die alle op één abstractienivo liggen.

In de onderstaande tabel (tabel 2) staan de aantallen concepten en relaties per expert in de tweede fase, de fase waarin één techniek is gebruikt bij kenniselicitatie op één subdomein:

	EXPERT 1		EXPERT 2	
	concepten	relaties	concepten	relaties
INTERVIEW	1 78	131	1 60	47
PROTOCOLANALYSE	2 52	87	2 61	54
SCHAALANALYSE	3 64	74	3 32	33

Tabel 2. Aantal concepten en relaties per expert en per techniek in de tweede fase (1, 2 en 3 zijn respectievelijk subdomein 1, 2 en 3).

Duidelijk is dat expert 1 in de tweede fase (net als als in de eerste fase) over het algemeen meer concepten en relaties leverde dan expert 2. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat expert 1 in eerste instantie minder moeite had met het verbaliseren van zijn kennis, omdat hij dat al vaker had gedaan door middel van rapporten en lezingen.

Verder bleek dat bij expert 1 wat betreft concepten een afname is te zien van interview naar schaalanalyse en -met de minste concepten- de protocolanalyse. Wat betreft het aantal relaties dat met een techniek naar voren kwam leverde in deze fase het interview de meeste relaties, vervolgens protocolanalyse als tweede en de schaalanalyse leverde de minste relaties.

Bij expert 2 daarentegen kwam de schaalanalyse, zowel wat betreft aantal concepten als aantal relaties, als de minste naar voren. Het interview en de protocolanalyse waren bij expert 2 qua aantal concepten en relaties min of meer vergelijkbaar.
Aangezien de trend in alle subdomeinen hetzelfde was, wordt niet meer naar elk subdomein apart gekeken, maar wordt hieronder een tabel gepresenteerd waarin het gemiddeld aantal concepten en relaties per elicitatietechniek en per expert wordt weergegeven (er is dus gemiddeld over de subdomeinen heen).

EXPERT 1

INTERVIEW		PROTOCOLANALYSE		SCHAALANALYSE	
concepten	relaties	concepten	relaties	concepten	relaties
64	99	56	83	45	55

EXPERT 2

INTERVIEW		PROTOCOLANALYSE		SCHAALANALYSE	
concepten	relaties	concepten	relaties	concepten	relaties
85	116	69	79	34	43

Tabel 3. Gemiddeld aantal concepten en relaties per elicitatie-techniek, per expert (over subdomeinen).

In deze tabel is te zien dat het grootste verschil bestond tussen enerzijds de schaalanalyse en anderzijds de beide andere technieken, interviews en protocolanalyse. De schaalanalyse leverde duidelijk de minste concepten en relaties op. Het verschil tussen het interview en de protocolanalyse was over het algemeen niet zo groot, zij leverden ongeveer evenveel concepten en soms leverde het interview wat meer relaties. Zowel voor expert 1 als expert 2 is in deze tabellen dus een trend te herkennen in de richting van een afname in aantal concepten en relaties van interview naar protocolanalyse en -met de minste concepten en relaties- de schaalanalyse. Ook wanneer naar de totalen per subdomein wordt gekeken is deze trend terug te vinden.

De unieke bijdrage van elke techniek is bepaald om antwoord te geven op de vraag of, als een bepaalde techniek is toegepast, één van de andere technieken nog nieuwe, andere informatie toevoegt. De unieke bijdrage van elke techniek is bepaald door elke techniek met de twee andere te vergelijken, d.w.z dat er drie vergelijkingen op elk subdomein gemaakt zijn: interview-schaalanalyse, protocolanalyse-schaalanalyse en interview-protocolanalyse. Bij elke vergelijking zijn concepten en relaties die overlappen (d.w.z ook synoniemen) geëlimineerd. Vervolgens is bepaald hoe groot het percentage unieke concepten en relaties van elke techniek is door het aantal -alleen door die techniek geleverde- concepten en relaties te delen door het totaal aantal door deze techniek geleverde concepten en relaties.

In de volgende tabel (tabel 4) staan deze percentages waarbij waarden kleiner dan 0.80 zijn onderstreept.

EXPERT 1

	INTERVIEW/SCHAALAN.				PROTOCOL./SCHAALAN.				INTERVIEW/PROTOCOL.			
	con	rel	con	rel	con	rel	con	rel	con	rel	con	rel
1	0.62	0.83	0.31	0.77	0.89	0.99	0.81	0.98	0.77	1.00	0.76	1.00
2	0.89	0.96	0.74	0.86	0.84	1.00	0.73	1.00	0.83	0.99	0.80	0.96
3	0.77	0.96	0.19	0.79	1.00	1.00	1.00	1.00	0.81	0.93	0.68	0.93

EXPERT 2

	INTERVIEW/SCHAALAN.				PROTOCOL./SCHAALAN.				INTERVIEW/PROTOCOL.			
	con	rel	con	rel	con	rel	con	rel	con	rel	con	rel
1	0.79	0.98	0.47	0.94	0.65	0.96	0.33	0.94	0.65	0.91	0.54	0.82
2	0.78	0.96	0.52	0.90	0.87	0.99	0.83	0.98	0.91	0.98	0.83	0.94
3	0.59	0.98	0.47	0.92	0.85	1.00	0.97	1.00	0.82	0.99	0.71	0.98

Tabel 4. Unieke bijdrage van elke techniek per subdomein en per expert.

Deze tabel maakt allereerst duidelijk dat wat betreft concepten het interview en de schaalanalyse een kleine unieke bijdrage hadden. De concepten voor de schaalanalyse werden geselecteerd uit het interview en dit effect was dus te verwachten. Wat betreft relaties is er echter weinig overlap tussen het interview en de schaalanalyse en dit bevestigde het idee dat bij dit onderzoek naar voren kwam, namelijk dat schaalanalyse een goede methode is om een iets dieper en gedetailleerder inzicht te krijgen in het kennisdomein door in te gaan op de samenhangen tussen begrippen die in het kennisdomein een rol spelen. Verder laat de tabel zien dat de overlap tussen enerzijds protocolanalyse en schaalanalyse en anderzijds protocolanalyse en interview zeer gering was en slechts optrad bij de concepten. Ook dit

is niet verbazingwekkend, want verwacht kan worden dat bij een protocolanalyse meer op het specifieke ('hardop opgeloste') probleem gerichte informatie en strategische kennis naar voren komt, maar wel uitgegaan wordt van op het kennisdomein belangrijke basisbegrippen.

De subjectieve beoordeling van een sessie door de expert is nagegaan door middel van het invullen van een vragenlijst. Met betrekking tot de eerste vraag bleek dat bij de subjectieve beoordelingen van de sessies zowel expert 1 als expert 2 de sessies redelijk tot zeer aangenaam hadden gevonden. Op de vraag hoe inspannend de sessies waren gaven beide experts bij alle sessies aan dat ze de sessies enigszins tot niet inspannend hadden gevonden.

Op de derde vraag, de vraag over hoeveel informatie de expert naar zijn gevoel in een sessie heeft kunnen overdragen, was er sprake van een verschil tussen de experts. Expert 1 gaf bij alle sessies aan dat hij redelijk tot veel informatie kwijt kon. Bij expert 2 daarentegen hing de evaluatie sterk af van het soort elicitatietechniek dat in de sessie is gebruikt. Over het algemeen gaf expert 2 aan dat hij redelijk tot veel informatie kwijt kon. Echter bij de afname van de schaalanalyse, d.w.z. wanneer hij paarsgewijze vergelijkingen moest maken kon hij weinig informatie kwijt. Expert 2 kon dus voor zijn gevoel bij het aangeven van de samenhang tussen twee begrippen door middel van een getal weinig informatie kwijt. Bij het bespreken van de schaalanalyse echter gaf expert 2 bij de evaluatie van hoeveelheid informatie aan dat hij veel informatie kwijt kon.

Onder efficiëntie in praktijkgebruik werd verstaan de afweging tussen tijd en informatie-opbrengst. In de praktijk is de tijd nodig voor kenniselicitatie namelijk een belangrijke kostenfactor bij de ontwikkeling van een expertsysteem. Wanneer gesproken wordt over tijd die een techniek kost kan een onderscheid gemaakt worden in voorbereidings-, afname- en uitwerkingstijd. Wat betreft de voorbereidingstijd kan gesteld worden dat deze voor de drie technieken interview, protocolanalyse en schaalanalyse niet zo sterk verschilde. De afnametijd van het interview en de schaalanalyse, waarbij voor de schaalanalyse uitgegaan werd van zowel de paarsgewijze vergelijkingen als van de duur van het bespreken van de clusteranalyse, was in dit onderzoek ongeveer vijf kwartier à anderhalf uur. Een protocolanalyse duurde ongeveer een half uur à drie kwartier, omdat hardop denken tijdens het oplossen van een probleem over het algemeen een zwaardere taak is.

Een verschil in tijdsduur tussen de drie technieken ontstond met name tijdens de uitwerking van een sessie. De duur van het uitwerken van een bandopname van een protocolanalyse of een interview was vergelijkbaar, maar aanzienlijk tijdrovender dan het uitwerken van een clusteranalyse. Hierbij moet worden opgemerkt dat in dit onderzoek de protocolanalyses niet op een -voor protocolanalyse gebruikelijke wijze-, d.w.z in termen van probleemruimtes, (sub)doelen en operatoren, uitgewerkt zijn. Wanneer op deze wijze uitgewerkt, zou een protocolanalyse beduidend meer tijd kosten dan een interview. Het omzetten van de, via paarsgewijze vergelijking verkregen, afstandsmatrix in een hiërarchische clusteranalyse kostte, met behulp van het statistisch softwarepakket SYSTAT, ongeveer een kwartier. Als dus bij het vergelijken van de drie technieken rekening wordt gehouden

met de tijd die een bepaalde techniek vergt komt protocolanalyse er in het algemeen wat minder voordelig uit, terwijl met name schaalanalyse een wat positievere beoordeling krijgt.

Voordat een aantal conclusies ten aanzien van de drie technieken worden getrokken eerst een tabel met de gemiddelde unieke bijdrage (gemiddeld over subdomeinen) van elke techniek, waarbij waarden kleiner dan 0.80 zijn onderstreept.

EXPERT 1

INTERVIEW/SCHAALAN.				PROTOCOL./SCHAALAN.				INTERVIEW/PROTOCOLAN.			
con	rel	con	rel	con	rel	con	rel	con	rel	con	rel
0.76	0.92	0.41	0.81	0.91	1.00	0.85	0.99	0.80	0.97	0.75	0.96

EXPERT 2

INTERVIEW/SCHAALAN.				PROTOCOL./SCHAALAN.				INTERVIEW/PROTOCOLAN.			
con	rel	con	rel	con	rel	con	rel	con	rel	con	rel
0.72	0.97	0.49	0.92	0.79	0.98	0.71	0.97	0.79	0.96	0.69	0.91

Tabel 5. Gemiddelde unieke bijdrage van elke techniek voor expert 1 en expert 2.

Interviews kwamen in dit onderzoek als een vrij effectieve elicitatietechniek naar voren. Zowel qua informatie-inhoud als efficiëntie is interviewen een gunstige elicitatietechniek. Bij de aanvang van de kenniselicitatie, wanneer men een algemene indruk van het kennisdomein en de werkzaamheden van de expert wil krijgen zijn interviews onmisbaar. Tevens biedt het interview de mogelijkheid om een vertrouwensrelatie met de expert op te bouwen mede omdat interviewen een bekende techniek is die over het algemeen als weinig bedreigend wordt ervaren.

Enige nadelen die aan interviews verbonden zijn worden als kanttekening toch nog genoemd. Allereerst is het mogelijk dat de expert, doordat hij introspectie moet plegen en achteraf moet rapporteren, gaat theoretiseren over zijn kennis. Een tweede bezwaar tegen interviewen is dat het een relatief subjectieve methode is. De vragen die de interviewer stelt bepalen voor een groot deel welke informatie er naar voren komt. Verder bestaat vooral bij direct vragen zoals in interviews het probleem dat moeilijk verbaliseerbare kennis, zoals geautomatiseerde kennis, niet naar voren komt.

Protocolanalyse kwam wat betreft informatie-inhoud als een effectieve elicitatietechniek naar voren. Bij het hardop oplossen van een probleem kwam veel informatie naar voren en bovendien is deze informatie over het algemeen uniek voor de protocolanalyse, d.w.z dat andere technieken deze informatie niet opleverden.

Een groot nadeel van protocolanalyse blijft de tijdrovendheid van de techniek als een protocol wordt uitgewerkt in termen van, zoals Newell en Simon [Newell & Simon, 1972] aangeven, probleemruimtes, (sub)-doelen en operatoren. Daarentegen heeft protocolanalyse het voordeel dat het als taak het sterkst aansluit bij de taak die het te ontwikkelen expertsysteem uiteindelijk gaat vervullen. Tevens kan men ervan uitgaan dat protocolanalyse vanwege gelijktijdig, in plaats van achteraf, rapporteren meer betrouwbare kennis oplevert dan bijvoorbeeld een interview. Wanneer men voor de keuze staat om een protocolanalyse toe te passen tijdens kenniselicitatie moet een zorgvuldige afweging worden gemaakt van deze factoren en het verdient de voorkeur om een protocolanalyse af te nemen in een fase waarin men een behoorlijk inzicht in het kennisdomein en de taak van de expert (en het expertsysteem) heeft om er zeker van te zijn dat kostbare informatie niet over het hoofd wordt gezien.

Eén van de belangrijkste vragen van dit onderzoek was of schaaltechnieken, en met name hiërarchische clusteranalyse, een goede methode voor kenniselicitatie zijn. Als gekeken wordt naar de, in dit onderzoek gehanteerde maten, informatieinhoud en efficiëntie van clusteranalyse kan op deze vraag niet met een volmondig "ja" worden geantwoord. In vergelijking met de twee andere technieken leverde de clusteranalyse de minste concepten en relaties. Als gekeken wordt naar de unieke bijdrage van clusteranalyse kan geconcludeerd worden dat de techniek niet veel nieuwe concepten opleverde in vergelijking met het interview, maar wel in vergelijking met de protocolanalyse. Daarentegen waren de bij clusteranalyse gevonden relaties in grote mate uniek. Dit resultaat stemt overeen met de indruk die bij het bespreken van een clusteranalyse gewekt werd, namelijk dat dan vooral zaken toegelicht werden die in een eerder stadium (bv. tijdens een interview) niet goed begrepen of onduidelijk waren. Clusteranalyse heeft met name een grote waarde als aanvulling op het interview en de protocolanalyse als bepaalde zaken niet helemaal duidelijk zijn en heeft daarbij als voordeel dat de methode relatief objectief is en in verhouding weinig tijd kost.

Om ervoor te zorgen dat een goede keuze van begrippen gemaakt wordt moet echter een clusteranalyse niet te vroeg in het elicitatieproces plaatsvinden en om interpretatieproblemen te voorkomen is doorspreken van de begrippen met de expert vòòr de afname van de clusteranalyse van groot belang.

REFERENTIES

[1] Welbank, M. 1983. A Review of Knowledge Acquisition Techniques for Expert Systems. Martlesham Heath: British Telecom Research Laboratories.

[2] Anderson, J.R. 1983. The Architecture of Cognition. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

[3] Burton, A.M., Shadbolt, N.R., Hedgecock, A.P and Rugg, G. 1987. A Formal Evaluation of Knowledge Elicitation Techniques for Expert Systems: Domain 1. Department of Psychology, University of Nottingham.

[4] Schweickert, R., Burton, A.M., Taylor, N.K., Corlett, E.N., Shadbolt, N.R and Hedgecock, A.P. 1987. Comparing Knowledge Elicitation Techniques: A Case Study. Artificial Intelligence Review, In Press.

[5] Newell, A. and Simon, H. 1972. Human Problem Solving. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.

FIFE: DE ONTWIKKELING VAN EEN INTELLIGENT FRONT-END

G. Wagenaar

Afdeling Industriële Veiligheid (IV)
Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie (MT)

Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

SAMENVATTING

Wanneer een gebruiker van een gegevensbestand een vraag aan dat bestand wil stellen, staan er hem talloze vraagtalen tot zijn beschikking. De compositie van de juiste vraag is echter een typisch menselijke taak. In dit artikel wordt een intelligente interface beschreven die het probleem van de gebruiker vertaalt naar een goede vraag aan het bestand. De interface is toegespitst op één gegevensbestand: FACTS, Failure and ACcidents Technical information System.

1. INTRODUCTIE

Een gebruiker, die informatie uit een gegevensbestand wil opvragen, heeft talloze vraagtalen tot zijn beschikking. Hij hoeft zich geen zorgen te maken over de organisatie van de gegevens; hij kan niet zien of deze in een hiërarchische, in een netwerk of in een relationele vorm opgeslagen zijn. Kortom, als de gebruiker een syntactisch correcte vraag heeft geformuleerd (het zoekprofiel voldoet aan de grammatica van de vraagtaal), dan krijgt hij (meestal binnen enkele seconden) antwoord.

In de praktijk blijkt echter dat, hoewel de syntactische formulering ook niet eenvoudig is, de semantische formulering de meeste moeilijkheden met zich meebrengt. Het zoekprofiel dient namelijk zodanig samengesteld te worden dat de gegevens die geleverd worden uit het bestand een antwoord vormen op het probleem van de gebruiker.

De gebruiker stelt zijn vraag dan ook meestal niet direct aan het gegevensbestand. In plaats daarvan legt hij zijn probleem voor aan een professionele gebruiker. Deze expert herformuleert vervolgens het probleem tot een syntactisch en semantisch correct zoekprofiel.

De expertise van de bovengenoemde intermediair is echter niet altijd vrij beschikbaar op alle momenten en alle plaatsen waar dit wenselijk

zou zijn. Dit maakt de expertise dan ook zeer waardevol. Het zou aangenaam zijn deze kennis in één of andere vorm vast te leggen. Met name een computer programma zou de bovengenoemde menselijke expert (ten dele) kunnen vervangen.

Artificiële Intelligentie (AI) is een technologie die technieken en methoden aanreikt om dergelijke programma's te ontwikkelen. De oplossing van het boven geschetste probleem wordt met name gevonden in het deelgebied van de kennissystemen binnen de AI. De combinatie van klassieke technologie (gegevensbestanden) en AI (kennissystemen) resulteert dan in een zogenaamd intelligent front-end. Zo'n front-end heeft tot doel het probleem van een gebruiker te transformeren tot een zoekprofiel voor een gegevensbestand.

De afdeling Industriële Veiligheid (IV) van de hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO (MT-TNO) beheert het gegevensbestand FACTS, Failure and ACcident Technical information System. FACTS bevat gegevens over ongevallen met gevaarlijke chemicaliën. In totaal zijn beschrijvingen van meer dan vijftienduizend ongevallen over de gehele wereld in het bestand aanwezig. Vanuit diverse hoeken is belangstelling voor dergelijke gegevens; in het algemeen kan gesteld worden dat iedereen die betrokken is bij veiligheid in de industrie belang heeft bij zo'n bestand. Meer specifiek wordt FACTS gebruikt voor:

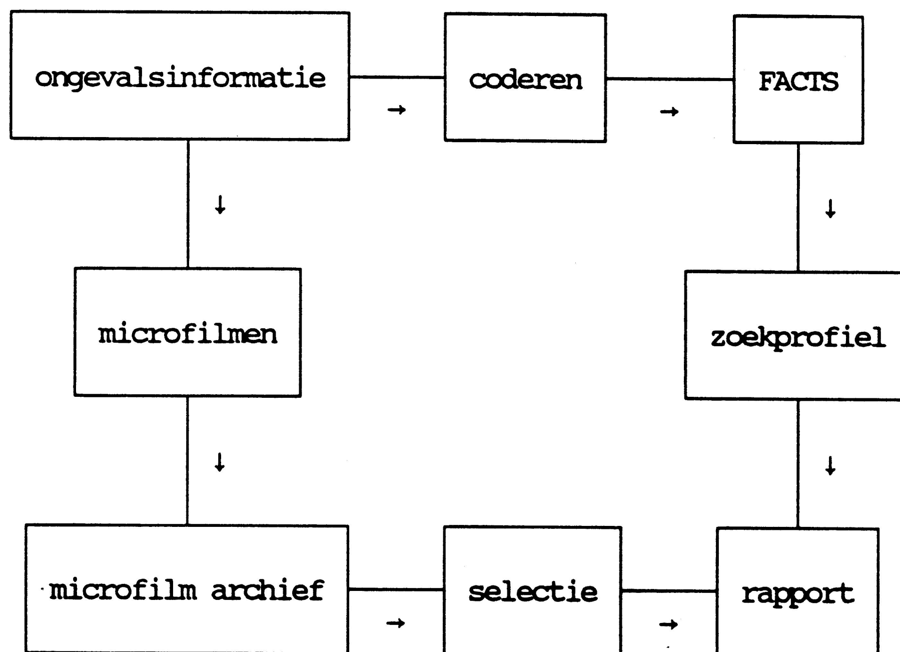
- kwantificatie van risico's, die inherent zijn aan bepaalde bedrijfsactiviteiten;
- verzameling van informatie in verband met de verlening van vergunningen;
- verificatie van modellen en scenario's die bij risico analyse gebruikt worden;
- onderzoek naar bepaalde mechanismen bij ongevallen, naar gedrag van chemicaliën, enzovoorts.

Dit betekent dat FACTS gebruikt wordt door autoriteiten en bedrijven over de gehele wereld. Deze gebruikers komen met hun problemen bij TNO en de intermediair zorgt voor vertaling van het probleem naar het zoekprofiel voor FACTS. Dit betekent dat alle problemen, die geschetst zijn in het eerste deel van deze introductie, van toepassing zijn op dit gegevensbestand. Om nu de gebruikers in de toekomst in de gelegenheid te stellen zelf in FACTS te zoeken is besloten de toegang tot het bestand via een intelligent front-end te laten verlopen.

De rest van dit artikel beschrijft de structuur van FACTS en in detail de ontwikkeling van de front-end.

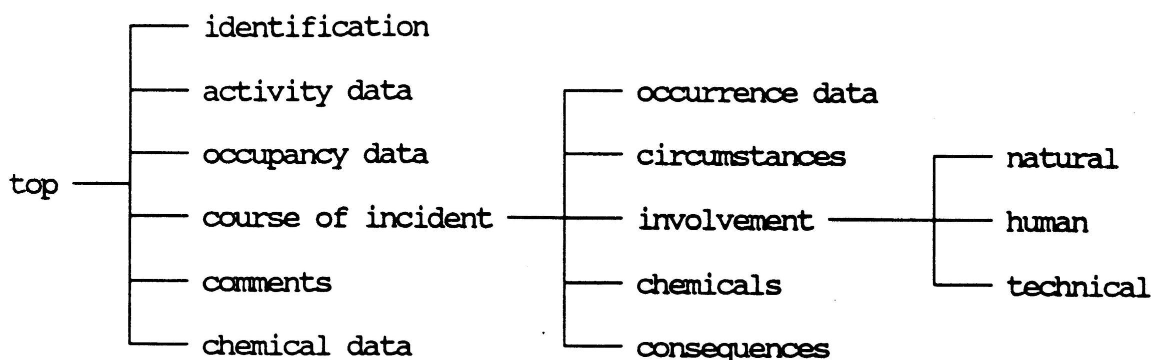
2. STRUCTUUR VAN FACTS

Zoals in de introductie vermeld, bevat FACTS gegevens over ongevallen met gevaarlijke stoffen. Deze gegevens zijn afkomstig uit de literatuur, uit periodieken, uit kranten, uit technische rapporten en uit andere publicaties. Verder wordt ook geput uit rapporten van de politie, de brandweer en andere instanties; deze rapporten zijn veelal vertrouwelijk. De informatie uit deze bronnen wordt gecodeerd en in FACTS opgeslagen; hiernaast worden de originele bronnen ook op microfilm opgeslagen. Een overzicht van dit proces wordt gegeven in figuur 1.



Figuur 1: coderen en microfilmen van ongevalsinformatie

Het coderen van de ongevalsinformatie gebeurt via zo'n vijftienhonderd trefwoorden. Deze trefwoorden zijn door middel van een hiërarchie aan elkaar gekoppeld. Figuur 2 illustreert een deel van deze hiërarchie.



Figuur 2: deel van de hiërarchie van trefwoorden

Overigens is deze informatie, net als alle gegevens in het bestand, in het Engels in verband met het internationale gebruik. Tenslotte wordt in figuur drie een voorbeeld gegeven van een fragment van een rapport zoals dat uiteindelijk aan de gebruiker gepresenteerd wordt.

FACTS	DATABASE FOR INDUSTRIAL	SAFETY PAGE 1
ACC#		8020
ADRES	D	BRUGHSAL
ADATE	1984	1984 0807
ACTIV	ROADTRANSPORT	RUNNING
LOCTN	ROAD	-
CAUSE	HUMAN FAILURE	-
OCCUR	INCORRECT ACTION	INCORRECT DRIVING
EQINV	LORRY	-
OCCUR	COLLISION	-
EQINV	TANKVEHICLE	-
LOAD	-	15.00/M3
OCCUR	OVERTURN/CAPSIZE	-
OCCUR	RELEASE	-
CHEM	UN 1832	SULPHURIC ACID SPENT
STATE	LIQUID	-
SPILL	-	6.00/M3
OCCUR	CHEMICAL REACTION	WITH ROAD-SURFACE
OCCUR	SMOKE EMMISION	-
EQINV	VAPOUR CLOUD	-
HCLD	-	100.00/M
OCCUR	TRAFFIC INTERRUPTION	-
DTIME	-	6.00/H
INJURS	OPERATOR/DRIVER	1
EQDM	TANKVEHICLE	-

Figuur 3: rapport met gegevens uit FACTS

3. FIFE

3.1 Kennis van de intermediair

Gegevensbestanden, die gecodeerde informatie bevatten, zijn nooit volledig in de zin dat bij de codering altijd informatie verloren gaat en/of gewijzigd wordt. Dit geldt ook voor FACTS en dat zorgt, samen met de uitgebreide hierarchie van trefwoorden, ervoor dat de toegang tot FACTS voor een gemiddelde gebruiker ondoenlijk is. Om deze gemiddelde gebruiker toch een directe toegang tot het bestand te bieden is besloten, op basis van de kennis van de intermediair, een intelligent front-end te ontwikkelen: FIFE, FACTS Intelligente Front-End. De kennis van de intermediair kan duidelijk gemaakt worden aan de hand van een tweetal voorbeelden.

Het eerste voorbeeld betreft een gebruiker, die alles wil weten over ongevallen tijdens het vervoer van LPG. De intermediair kan nu twee dingen doen: hij kan FACTS doorzoeken op alle ongevallen waar zowel het trefwoord **TRANSPORT** als het trefwoord **LPG** in voorkomt, of hij kan de gebruiker een aantal vragen stellen over de nadere aard van de informatie die hij zoekt (om op die manier het aantal ongevallen in te perken). Zulke vragen zouden kunnen zijn:

- U had het over vervoer.
  Wat bedoelt U met vervoer? Bedoelt U alleen het vervoer zelf of het vervoer inclusief het transport van en naar het transportmiddel?

- U had het over het vervoer van LPG.
  Weet U dat bijvoorbeeld ammonia op dezelfde wijze vervoerd wordt als LPG, met hetzelfde materiaal met dezelfde fysische beperkingen?

- U had het over het vervoer van LPG.
  Bent U ook geïnteresseerd in het vervoer van LPG in kleine hoeveelheden (bijvoorbeeld gastanks in personenauto's)?

Het tweede voorbeeld begint weer met een gegeven startprofiel en illustreert de stappen naar het eindprofiel.

Een gebruiker zoekt informatie over ongevallen met **UNDER-GROUND STORAGE** en **OIL**. De intermediair vraagt dan bijvoorbeeld aan de gebruiker of ongevallen met andere brandstoffen ook interessant zijn. De volgende vraag zou kunnen zijn of het gaat om alle ongevallen die in het bestand aanwezig zijn of om ongevallen na een bepaald jaar. Tenslotte zou de intermediair kunnen vragen of waterverontreiniging misschien het probleem is waarmee de gebruiker zit. Afhankelijk van de beantwoording van deze vragen zou het eindprofiel nu de trefwoorden **UNDER-GROUND STORAGE, OIL, 1981-1989** en **WATER-POLLUTION** kunnen bevatten.

3.2 Structuur van FIFE

De bovenstaande voorbeelden geven een goed beeld van de werkwijze van de intermediair (de expert). Uitgaande van een startprofiel is hij continu bezig dit profiel bij te schaven tot uiteindelijk een

eindprofiel ontstaat. Een uitgebreide analyse van zijn kennis levert op dat deze in een drietal categorieën is onder te verdelen:

- algemene kennis;
- hiërarchische kennis;
- specialistische kennis.

Zijn werkwijze en de indeling van zijn kennis zijn ongewijzigd overgenomen in FIFE.

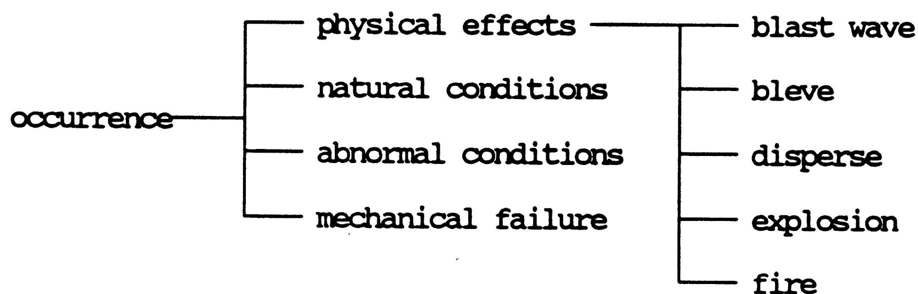
Algemene kennis heeft betrekking op algemene elementen die een zoekprofiel kunnen beperken. In FIFE zijn dat beperkingen met betrekking tot de geografie en met betrekking tot de tijd. Dit betekent in concreto dat de gebruiker altijd eerst wordt gevraagd in welk land/werelddeel (welke landen/werelddelen) de ongevallen hebben plaatsgevonden respectievelijk in welke periode de ongevallen hebben plaatsgevonden. Uiteraard staat het de gebruiker vrij geen beperkingen aan te brengen.

Hierna wordt de gebruiker gevraagd zijn probleem in te voeren. Uit zijn beschrijving van het probleem worden de trefwoorden van FACTS gezeefd. Alle andere invoer wordt buiten beschouwing gelaten. De aldus geselecteerde trefwoorden vormen, samen met de algemene beperkingen, het startprofiel. De hiërarchische en de specialistische kennis werken op dit startprofiel. Overigens is het natuurlijk mogelijk dat er noch beperkingen noch trefwoorden ingevoerd zijn; het startprofiel is dan blanco.

Hiërarchische kennis heeft betrekking op de hiërarchische structuur, waarin de trefwoorden zijn opgeslagen. Deze kennis kan een drietal vormen aannemen:

- specialisatie;
- generalisatie;
- generalisatie & specialisatie.

Deze drie vormen worden toegelicht aan de hand van het deel van de hierarchie in figuur 4.



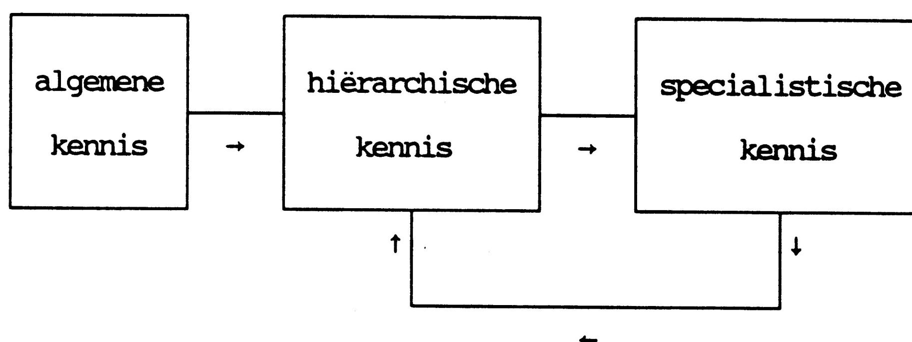
Figuur 4: deel van de hiërarchie van trefwoorden

Stel dat het huidige zoekprofiel bepaald is op **PHYSICAL EFFECTS**. Specialisatie betekent nu dat de gebruiker gevraagd wordt of hij in

alle fysische effecten geïnteresseerd is of slechts in onderdelen daarvan (**BLAST WAVE**, **BLEVE**, enzovoort). Overigens is het ook mogelijk onderdelen te ontkennen (dus: alle fysische effecten behalve brand). Generalisatie maakt de stap van **PHYSICAL EFFECTS** naar **OCCURRENCE** in het algemeen. Generalisatie & specialisatie tenslotte vraagt de gebruiker of hij naast **PHYSICAL EFFECTS** ook nog geïnteresseerd is in **NATURAL CONDITIONS**, **ABNORMAL CONDITIONS**, etcetera.

Specialistische kennis legt verbanden tussen trefwoorden, die op willekeurige plaatsen in de hiërarchie voorkomen. Voorbeelden, die reeds eerder aan de orde gekomen zijn, zijn bijvoorbeeld het verband tussen het vervoer van LPG en het vervoer van ammonia of het verband tussen ondergrondse opslag en waterverontreiniging.

De structuur van het inferentieproces verloopt ook aan de hand van de categorieën kennis. Het inferentieproces is schematisch samengevat in figuur 5.



Figuur 5: inferentieproces van FIFE

Het is duidelijk dat op deze manier de vragen op een logische manier aan de gebruiker voorgelegd worden. Ook is duidelijk dat zelfs met een blanco startprofiel begonnen kan worden: het proces start dan bovenaan de hiërarchie. Uiteraard kost de samenstelling van een eindprofiel vanuit een blanco startprofiel veel meer stappen dan vanuit een meer gespecificeerd startprofiel. De compositie van een profiel kan op twee manieren beëindigd worden:

- door expliciet ingrijpen van de gebruiker;
- door impliciet ingrijpen van de front-end, als het aantal ongevallen dat het huidige zoekprofiel zou genereren aanvaardbaar is (deze optie is momenteel slechts geïmplementeerd in de zin dat de gebruiker bij elk zoekprofiel ziet hoeveel ongevallen er geselecteerd zouden worden; FIFE onderneemt zelf geen actie).

3.3 Implementatie van FIFE

In eerste instantie is een prototype van FIFE ontwikkeld. Dit was operationeel op een PC en is later overgebracht naar een VAX. Het prototype was geschreven in PROLOG. Momenteel wordt de laatste hand

gelegd aan de uitbouw van het prototype tot operationeel systeem. De uitbouw heeft met name betrekking op:

- verbreding van de kennis; het prototype bevatte voornamelijk algemene en hiërarchische kennis, terwijl FIFE als geheel alle drie de categorieën bevat.
- koppeling met FACTS; het prototype was niet gekoppeld aan FACTS, waardoor vragen opnieuw ingetikt dienden te worden. FIFE is wel gekoppeld.
- verbetering van de interactie met de gebruiker; het prototype was bepaald onvriendelijk in de benadering van de gebruiker, terwijl FIFE vrijwel volledig menu-georiënteerd is (dit laatste garandeert overigens ook een correcte syntactische formulering van een vraag).

Alle categorieën kennis zijn opgenomen via IF-THEN regels. Ze kunnen ook allen uitleg genereren, al is dit alleen voor de specialistische kennis echt zinvol.

De koppeling met FACTS vindt plaats op twee niveaus. Het eerste niveau houdt zich bezig met het aantal ongevallen dat een zoekprofiel genereert. Hiervoor wordt er niet in FACTS zelf gekeken, maar in een FACTS gerelateerde datastructuur, de zogenaamde 'inverted file'. Deze geeft door middel van een bitpatroon aan welke trefwoorden in welke ongevallen voorkomen. Toegang tot deze 'inverted file' garandeert een snelle bepaling van het aantal ongevallen. Het tweede niveau is de koppeling tussen FIFE en FACTS: deze koppeling speelt het eindprofiel van FIFE door aan FACTS.

De interactie met de gebruiker van FIFE bevat niet alleen de compositie van het eindprofiel. De gebruiker wordt ook in staat gesteld geselecteerde ongevallen te bekijken en zijn gewenste uitvoer te definiëren. Er zijn namelijk verschillende soorten rapporten uit FACTS mogelijk. Ook dit deel van het programma werkt met menu's.

FACTS was (en is) operationeel op een HP-3000 computer. Modernisering van deze apparatuur noopte tot overzetting van het bestand. FACTS is daarom overgezet op een microVAX, waarbij als systeem voor het gegevensbestand gekozen is voor ORACLE. Aan FIFE wordt deze maand de laatste hand gelegd, waarna het programma ook operationeel zal zijn op voornoemde microVAX. FIFE maakt, naast de ORACLE tabellen van FACTS, ook gebruik van eigen ORACLE tabellen.

BESLISSINGSONDERSTEUNING AAN HET MANAGEMENT BIJ DAMAGE CONTROL SITUATIES

J.M.C. Schraagen

Instituut voor Zintuigfysiologie TNO
Afdeling Cognitieve Psychologie

Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

SAMENVATTING

Een onderzoek is uitgevoerd naar verschillen in kennis en strategieën tussen beginnende en gevorderde Damage Control officieren. Doel van dit onderzoek was aan te geven op welke punten beginnende Damage Control officieren computerondersteuning behoeven. De resultaten laten zien dat beginners vooral kennis missen over de onderlinge ligging van compartimenten. Hierdoor kunnen zij minder goed op calamiteiten anticiperen, doordat de gevolgen van een calamiteit op andere (b.v. brandgevaarlijke) compartimenten minder goed bepaald kunnen worden.

1. INLEIDING

De Damage Control officier (D-officier) aan boord van schepen van de Koninklijke Marine (KM) heeft als taak het voorkomen en bestrijden van brand en averij, en het bewaken van de stabiliteit. De D-officier voert zijn taak uit vanuit een centrale meldpost, alwaar meldingen over de toestand van het schip zowel mondeling als op meldpanelen kunnen binnenkomen. De D-officier heeft dus geen direct contact met de brandbestrijding of het averijherstel: deze zaken worden gedelegeerd en het verloop ervan kan alleen indirect worden gevolgd, via meldingen. Het zal duidelijk zijn dat de D-officier, zeker als er zich meerdere calamiteiten voordoen, een groot aantal beslissingen moet nemen onder grote tijddruk. Dit is een zeer complexe taak, omdat de wereld waar de D-officier mee geconfronteerd wordt een hoge waarde heeft op de volgende dimensies [Woods, 1987]:

1) dynamiek: de toestand van het schip verandert voortdurend
2) onzekerheid: de meldingen die binnenkomen zijn vaak onvolledig of onjuist
3) risico: foutieve beslissingen kunnen ernstige gevolgen hebben

4) verbondenheid: de D-officier heeft te maken met elektrische, voortstuwings-, ventilatie-, koelwater- en brandblussystemen die onderling nauw verbonden zijn, en in hoge mate de gevechtskracht van het fregat bepalen.

Een taak van een dergelijke complexiteit vereist een grote hoeveelheid kennis om uitgevoerd te worden. Deze kennis moet bovendien nog op het juiste moment beschikbaar zijn. De KM is van mening dat, gegeven de taakcomplexiteit en de benodigde kennis, de taak van de D-officier zich goed leent voor een beslissingsondersteunend systeem waarin gebruik is gemaakt van AI-technieken. Praktische overwegingen voor het invoeren van een dergelijk systeem zijn o.a.:

1) D-officieren beschikken soms niet over voldoende kennis van een bepaald scheepstype, omdat ze nog niet lang genoeg op een dergelijk scheepstype hebben gevaren.

2) In hun opleiding krijgen D-officieren te maken met standaard-situaties waar voorgeschreven procedures voor bestaan, b.v. een crash van een helicopter. In werkelijkheid zullen situaties vaak onvoorspelbaarder zijn. De vraag is of D-officieren deze meer onvoorspelbare situaties het hoofd kunnen bieden, en aan welke eisen een beslissingsondersteunend systeem in dergelijke situaties moet voldoen.

Deze praktische overwegingen hebben geleid tot de volgende vragen:

1) Welke soorten kennis spelen een rol bij de taak van de D-officier, en welke soort kennis missen beginnende D-officieren?

2) Welke strategie volgen D-officieren bij onvoorspelbare situaties?

Deze vragen zijn onderzocht in het hieronder beschreven onderzoek. Uiteindelijk moet dit onderzoek leiden tot een aantal specificaties waaraan een beslissingsondersteunend systeem moet voldoen. De filosofie achter het onderzoek is dat deze specificaties het beste achterhaald kunnen worden door ervaren en minder ervaren D-officieren te bestuderen. Minder ervaren D-officieren zijn in het onderzoek opgenomen om aanbevelingen te kunnen doen omtrent de computerondersteuning die zij behoeven.

2. NORMATIEVE TAAKANALYSE

Menselijk probleemoplossend gedrag wordt bepaald door de taak, de beschikbare kennis, en beperkingen in de informatieverwerking [Simon, 1981]. De taak bepaalt de doelen die iemand moet bereiken om de taak succesvol uit te kunnen voeren. Bepaalde typen taken, b.v. classificatie- of ontwerptaken, stellen ieder hun eigen doelen [Clancey, 1985]. Alvorens het descriptieve deel van het onderzoek te beschrijven, is het daarom goed om de taak van de D-officier te plaatsen in een taxonomie van soorten taken. Dit geeft een indicatie van de doelen welke een D-officier moet bereiken om succesvol te zijn in zijn taakuitvoering.

De taak van de D-officier kan in drie meer generieke taken worden gesplitst:

1) Monitoring
2) Diagnose
3) Planning

De D-officier checkt continu of de toestand van het schip nog in orde is (monitoring). Als hij een melding binnen krijgt dat er b.v. ergens brand is, dan zal hij eerst laten onderzoeken wat de aard en locatie van de brand is (diagnose), en vervolgens acties gaan plannen. Deze acties moeten aan bepaalde randvoorwaarden voldoen: als er een brand geblust moet worden moet er voldoende brandblusdruk zijn, voldoende personeel, etc. Als niet aan alle randvoorwaarden is voldaan, treedt het diagnose-proces opnieuw in werking (waarom is er onvoldoende brandblusdruk?). Binnen het diagnose-proces wordt onderzocht wat de oorzaak is van het niet vervuld zijn van een randvoorwaarde, en of er verdere gevolgen zijn voor de rest van het schip. De uitkomsten van het diagnose-proces vormen de invoer voor het planning-proces. Er zullen nu weer acties gepland worden om te zorgen dat aan de randvoorwaarden voldaan is, en om eventuele verdere gevolgen te bestrijden. Bij het uitvoeren van alle acties treedt het monitoring-proces weer in werking om te controleren of de uitkomsten van de acties leiden tot het herstel van de oorspronkelijke toestand van het schip.

3. COGNITIEVE TAAKANALYSE

Het bovenstaande is een normatieve taakanalyse: het beschrijft de taken die een D-officier zou moeten uitvoeren. Voor een adequate descriptieve, cognitieve taakanalyse is het echter tevens nodig de werkelijke taakuitvoering te bestuderen. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt in verschillende soorten kennis nodig voor de taakuitvoering van de D-officier [vgl. Anderson, 1983]:

- declaratieve kennis of 'weten dat' en 'weten waarom'
- procedurele kennis of 'weten hoe'.

Declaratieve kennis kan meer of minder scheepstype-afhankelijk zijn. Kennis die alleen geldig is op één type schip, b.v. het Standaard-fregat, en niet op b.v. het Geleide-Wapenfregat, wordt scheepstype-afhankelijk genoemd. Scheepstype-afhankelijke kennis (in het vervolg 'scheepskennis' genoemd) heeft betrekking op de preciese indeling en inrichting van compartimenten. Scheepstype-onafhankelijke kennis heeft betrekking op systemen die op meerdere scheepstypen voorkomen, b.v. kennis van wapen- en voortstuwingssystemen die op meerdere scheepstypen voorkomen.

Een belangrijke component in de taak van de D-officier is kennis van het brandblussysteem. Deze soort kennis bevat zowel een scheepstype-afhankelijke als een -onafhankelijke component: scheepstype-afhankelijk omdat het brandblussysteem per type schip verschilt qua indeling (aantal en plaats van pompen, hoofdleidingen, afsluiters, etc.); scheepstype-onafhankelijk omdat de principes van het

brandblussysteem, en dus de soort acties die men onderneemt bij storingen of calamiteiten, dezelfde zijn op alle scheepstypen.

De tweede soort kennis, procedurele kennis, kan worden onderverdeeld in:

- voorgeschreven procedures
- strategieën.

Voorgeschreven procedures zijn toegesneden op bekende, goed gedefinieerde situaties, en zijn dus specifiek voor die situaties. Dit kunnen vuistregels zijn om snel oorzaken voor bepaalde calamiteiten te vinden, of standaard-procedures voor b.v. een heli-crash of een aanvaring. Bij goed gedefinieerde situaties kunnen direct acties worden ondernomen.

Strategieën zijn van toepassing op minder bekende, slechter gedefinieerde situaties, zoals de inslag van een raket. Een strategie is een wijze van probleemaanpak die niet situatie-specifiek is. Een dergelijke strategie wordt niet expliciet onderwezen op de NBCD-school, het opleidingsinstituut van de KM waar o.a. Damage Control wordt onderwezen. Voorgeschreven procedures worden daarentegen wèl op deze school onderwezen. Strategieën moeten in de praktijk aangeleerd worden via simulaties of door bekendere problemen vaak te beoefenen. Er zullen zich echter altijd onbekendere situaties voordoen, en de vraag is of de geleerde strategie dan nog toepasbaar is. Hoe onbekend de situatie echter ook is, de taaksituatie blijft altijd dezelfde: de D-officier zal altijd een juist plan op moeten stellen en op basis hiervan tot een juiste actie moeten komen. Iedere D-officier die weet wat zijn taak inhoudt zal dus altijd naar oorzaken en gevolgen zoeken, tenzij de situatie zó duidelijk is dat meteen tot actie kan worden overgegaan. Aangezien het zoeken naar oorzaken en gevolgen sterk afhankelijk is van de scheepskennis die iemand heeft, mag verwacht worden dat D-officieren met meer scheepskennis meer oorzaken en gevolgen kunnen genereren dan D-officieren met minder scheepskennis.

Naast de taak en de kennis spelen beperkingen in de informatieverwerking een rol bij de taakuitvoering. Een D-officier moet een grote hoeveelheid meldingen in korte tijd kunnen verwerken. Het werkgeheugen van de D-officier wordt hierdoor sterk belast, waardoor hij bepaalde meldingen kan vergeten, en dus vergeet acties te ondernemen. Uit de psychologische literatuur is bekend dat de belasting van het werkgeheugen verminderd kan worden indien gebruik kan worden gemaakt van aanwezige kennis [b.v. Chase en Ericsson, 1981]. Gevorderde D-officieren met veel scheepskennis zullen dan naar verwachting minder vergeten dan beginners zonder veel scheepskennis.

4. METHODE VAN ONDERZOEK

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is een vergelijking gemaakt tussen drie groepen D-officieren, met in iedere groep twee proefpersonen:

1) beginners: proefpersonen die maximaal 1 jaar op een S-fregat

hebben gevaren, maar niet in de functie van D-officier, en een cursus Damage Control voor officieren op de NBCD-school achter de rug hebben.

2) transfer: proefpersonen met ervaring op een ander scheepstype dan het S-fregat, die op het moment van het experiment een cursus Damage Control voor officieren volgden. Ook deze proefpersonen hadden niet eerder de functie van D-officier vervuld.

3) gevorderden: proefpersonen die minstens een half jaar de functie van D-officier hebben vervuld op een S-fregat.

De proefpersonen kregen vier taken voorgelegd:

1) twee scenario's doorlopen, waarbij de proefleider de meldingen voorlas en de proefpersoon hardop denkend moest vertellen welke acties hij bij een gegeven melding zou ondernemen.

2) kaartjes met meldingen sorteren naar de wijze waarop de D-officier actie zou ondernemen; dus meldingen waarop de D-officier eenzelfde actie zou ondernemen dienden in één stapeltje geplaatst te worden. Op de kaartjes was vermeld: hoe de melding binnenkwam (mondeling of via het paneel in de TC); wat de melding inhield (lekkage of geen brandblusdruk); waar de melding vandaan kwam (voor, midden, achter of 2H10, 3H10, 4H10); onder welke gereedheidsgraad het schip voer (1 of 4).

3) een multiple choice vragenlijst invullen, met 12 vragen betrekking hebbend op de twee scenario's.

4) herinneren wat er in de twee eerder genoemde scenario's aan de hand was, en welke acties zijn ondernomen.

5. RESULTATEN

Hieronder zullen in het kort de resultaten op de vier taken worden vermeld.

5.1 Scenario's

Iedere respons bij een melding in het scenario werd beoordeeld aan de hand van criteria die waren opgesteld om de drie typen taken: monitoring, planning, en diagnose, te beoordelen. Op deze manier werd een indruk verkregen van het aandeel van ieder van de drie typen taken voor iedere groep proefpersonen. De resultaten lieten zien dat de drie groepen proefpersonen alleen verschilden op de diagnose-taak: de gevorderden noemden meer oorzaken en gevolgen dan de beginners en transfer-proefpersonen. In het vervolg zal het noemen van gevolgen gelijk worden gesteld aan het doen van voorspellingen ten aanzien van mogelijke gevolgen van de calamiteit voor nabijgelegen ruimtes.

Uitgesplitst naar soort declaratieve kennis (Damage Control kennis; kennis van het brandblussysteem; kennis van overige systemen) lieten de resultaten zien dat gevorderden in het geval een beroep werd gedaan op specifieke DC-kennis significant meer voorspellingen maakten dan de beide andere groepen. In het geval een beroep werd gedaan op de andere

twee soorten kennis, maakten gevorderden niet meer voorspellingen dan de beide andere groepen. De extra voorspellingen die de gevorderden maakten konden bijna volledig worden toegeschreven aan hun specifieke kennis van brandgevaarlijke compartimenten in de omgeving van de calamiteit.

Voor wat betreft het aantal genoemde oorzaken, noemden gevorderden significant meer oorzaken in het geval een beroep werd gedaan op kennis van het brandblussysteem. In het geval een beroep werd gedaan op de andere soorten kennis noemden gevorderden niet meer oorzaken dan de beide andere groepen. Dit is begrijpelijk in de gevallen dat een beroep werd gedaan op DC-kennis, omdat in deze gevallen de oorzaak vaak expliciet vermeld werd in het scenario (b.v. "brand als gevolg van inslag van granaten"; "brand in kombuis als gevolg van omgevallen frituurpan").

Indien wordt gekeken naar het totaal aantal genoemde acties, dan is er geen verschil tussen de drie groepen proefpersonen. Alleen indien een beroep werd gedaan op DC-kennis noemden gevorderden significant meer acties dan de beide andere groepen. Voor wat betreft procedurele kennis noemden gevorderden en transfer-proefpersonen meer acties dan beginners bij bekende situaties waarvoor procedures zijn voorgeschreven. Bij situaties waarvoor geen procedures zijn voorgeschreven, noemden alle groepen evenveel acties.

Behalve naar het aantal acties is tevens gekeken naar de kwaliteit van de acties, door de protocollen te vergelijken met de acties genoemd door een ervaren D-officier, verbonden aan de NBCD-school. Er is een onderscheid gemaakt in acties die proefpersonen vergeten hebben, zgn. omissies, en foutieve acties, zgn. commissies. Gevorderden begingen significant minder omissies dan de beide andere groepen proefpersonen. Dit verschil was het duidelijkst indien een beroep werd gedaan op DC-kennis. Het verschil was iets minder duidelijk, maar nog steeds aanwezig, indien een beroep werd gedaan op kennis van het brandblussysteem. Het verschil in aantal omissies was afwezig indien een beroep werd gedaan op kennis van overige, niet-DC systemen.

Gevorderden begingen significant minder commissies, foutieve acties, dan de beide andere groepen, die onderling niet van elkaar verschilden.

5.2 Sorteren

De kaartjes met meldingen konden volgens tenminste twee criteria gesorteerd worden:

- naar locatie
- naar calamiteit.

De sortering naar locatie vereist scheepskennis, en zal daarom naar verwachting alleen door gevorderden geschieden; dit criterium wordt daarom het 'gevorderdencriterium' genoemd. De sortering naar calamiteit zal primair door beginners geschieden; dit criterium wordt daarom het 'beginnerscriterium' genoemd, hoewel gevorderden ook volgens dit criterium kunnen sorteren.

Er werd een correlatie berekend tussen de gevonden oplossingen van de proefpersonen en de twee criteria. Op deze correlaties werd een statistische analyse uitgevoerd. De resultaten lieten zien dat, zoals voorspeld, de gevorderden meer volgens het gevorderdencriterium sorteerden, terwijl beginners en transfer-proefpersonen meer volgens het beginnerscriterium sorteerden.

5.3 Vragenlijst

De beginners scoorden op de multiple choice vragenlijst gemiddeld 33% correct, de transfer-proefpersonen 54% correct, en de gevorderden 71% correct. Het kansniveau lag op 23.5%. De gevorderden scoorden significant hoger dan de beide andere groepen, die onderling niet significant verschilden.

Ook in de vragenlijst werd een beroep gedaan op verschillende soorten kennis: algemene DC-kennis, kennis van het brandblussysteem op het S-fregat, en kennis van munitiemagazijnen. De gevorderden en de transfer-proefpersonen scoorden 90% correct op de algemene DC-vragen, terwijl de beginners hier 40% correct scoorden. Dit verschil was statistisch significant. Op de vragen die een beroep deden op scheepsspecifieke kennis van het brandblussysteem scoorden zowel de beginners als de transfer-proefpersonen 20% correct, terwijl de gevorderden op deze vragen 60% correct scoorden. Dit verschil was echter niet significant. Op de vragen die een beroep deden op kennis van munitiemagazijnen scoorden alle proefpersonen 50% correct.

5.4 Herinnering scenario's

In de protocollen werden de pauzes gemeten tussen de zinnen. De achterliggende gedachte hierbij is dat het menselijk geheugen is georganiseerd in 'cognitieve eenheden' [Anderson, 1983]. Bij het herinneren kan informatie binnen een eenheid sneller worden teruggehaald uit het geheugen dan informatie die zich in verschillende eenheden bevindt. Dit komt tot uiting in pauzes van verschillende lengte: informatie die zich in één eenheid bevindt zal kort na elkaar worden opgenoemd, terwijl informatie die zich in verschillende eenheden bevindt met grotere tussenpauzes wordt genoemd.

Bij deze taak zijn wegens tijdgebrek geen protocollen van transfer-proefpersonen opgenomen. Naast de snelheid van herinneren is tevens gekeken naar hoe veel iemand zich herinnerde. De resultaten laten zien dat gevorderden zich informatie sneller en beter herinnerden dan beginners. Gevorderden hadden de informatie uit de scenario's in een causaal verband opgeslagen, ruwweg geordend naar of de calamiteit zich in het voorschip dan wel het achterschip afspeelde. Dit kan worden afgeleid uit het resultaat dat pauzes tussen oorzaken en gevolgen in één deel van het schip significant korter waren dan pauzes tussen het overschakelen van het voorschip naar het achterschip.

Beginners hadden de informatie uit de scenario's niet in een causaal verband opgeslagen, maar in een temporeel verband. Het overschakelen naar een ander deel van het schip kostte ook de beginners significant meer tijd dan het opnoemen van calamiteiten in hetzelfde deel van het schip.

6. DISCUSSIE

Allereerst valt op dat op de meeste maten de beginners en de transfer-proefpersonen niet van elkaar te onderscheiden zijn. Dit impliceert dat er niet bijzonder veel transfer plaats vindt van het ene naar het andere scheepstype. Slechts bij bekende situaties noemden de transfer-proefpersonen meer acties en wisten ze meer vragen op een vragenlijst correct te beantwoorden dan beginners. Dit resultaat kan mogelijkerwijs verklaard worden vanuit het gegeven dat transfer-proefpersonen meer oefening op schepen hebben gehad met dergelijke situaties.

Ten tweede valt op dat er een soort kennis is waarover alleen gevorderden beschikken, namelijk kennis van wat te doen bij inslagen, branden, aanvaringen, etc. Deze soort kennis is Damage Control (DC) kennis genoemd. De voorsprong van gevorderden verdwijnt echter, althans in dit onderzoek, wanneer er een beroep moet worden gedaan op kennis die niet specifiek op DC-situaties betrekking heeft.

Ten derde valt op dat gevorderden, op grond van hun scheepskennis, meer gevolgen van calamiteiten kunnen bepalen dan beide andere groepen. Gevorderden weten welke brandgevaarlijke ruimtes zich in de buurt van de calamiteit bevinden, en kunnen daarom beter gevolgen bepalen dan beginners en transfer-proefpersonen die minder goed op een bepaald scheepstype thuis zijn. Dit stelt gevorderden in staat om, ook bij onbekende situaties, preventieve acties te ondernemen. Het belang van scheepskennis kwam ook naar voren bij het classificeren van meldingen: gevorderden plaatsen calamiteiten die in hetzelfde compartiment plaats vonden bij elkaar omdat hier mogelijkerwijs eenzelfde oorzaak aan ten grondslag ligt.

Ten vierde valt op dat gevorderden meer oorzaken weten te noemen voor storingen in het brandblussysteem dan beginners en transfer-proefpersonen. Bij iedere storing houden gevorderden met ongeveer 1.5 keer zo veel mogelijke oorzaken rekening als beide andere groepen. Daarnaast bleek uit de herinnering van de scenario's dat gevorderden meer onthouden van de scenario's dan beginners. Gevorderden organiseren bovendien alle meldingen in een causaal netwerk.

Meer specifiek kan gesteld worden dat zowel beginnende als gevorderde D-officieren de volgende strategie volgen: bij een gegeven melding van een calamiteit worden mogelijke oorzaken en gevolgen van die calamiteit bepaald, en worden mogelijke acties bepaald. De interpretatie van de taak verschilt dus niet bij beginners en gevorderden. Beide groepen proberen dezelfde doelen te bereiken omdat ze dezelfde taak uitvoeren. De taak van de D-officier vereist nu eenmaal dat er monitoring, diagnose en planning plaats vindt. Zolang acties direct kunnen worden uitgevoerd, b.v. in situaties waarvoor procedures zijn voorgeschreven, is er weinig verschil tussen beginners en gevorderden. Pas wanneer acties niet direct kunnen worden uitgevoerd, en het diagnose-proces in werking treedt, noemen gevorderden meer mogelijke oorzaken voor een storing, en doen ze meer voorspellingen over te verwachten gevolgen. Hierdoor komen ze in dergelijke situaties met meer en betere acties op. Om het diagnose-

proces goed te kunnen ondersteunen is veel scheepskennis nodig, om voorspellingen te kunnen doen, en veel kennis van het brandblussysteem, om meerdere oorzaken te kunnen aanwijzen. Beginners beschikken niet over deze kennis, en moeten daarom terugvallen op standaard-acties, zoals het sturen van een patrouille en het afwachten van wat die patrouille terugmeldt. Dit heeft tot gevolg dat beginners een 'locale' benadering van het probleem hebben: ze houden zich alleen bezig met de calamiteit die op een gegeven moment gemeld wordt, en niet met eventuele gevolgen van de calamiteit voor andere ruimtes.

Om een indruk te geven van hoe verschillen in kennis tot een verschillende benadering van het probleem kunnen leiden, volgt hieronder een voorbeeld van de declaratieve kennis van een D-officier, voor zover betrekking hebbend op de calamiteit "inslag raket in gamelle officieren".

In Fig. 1 is het is een deel van het mogelijk semantisch netwerk weergegeven van een beginnende D-officier. Dit netwerk is gedestilleerd uit hetgeen is gezegd bij het bedenken van acties bij de melding "inslag raket in gamelle officieren".

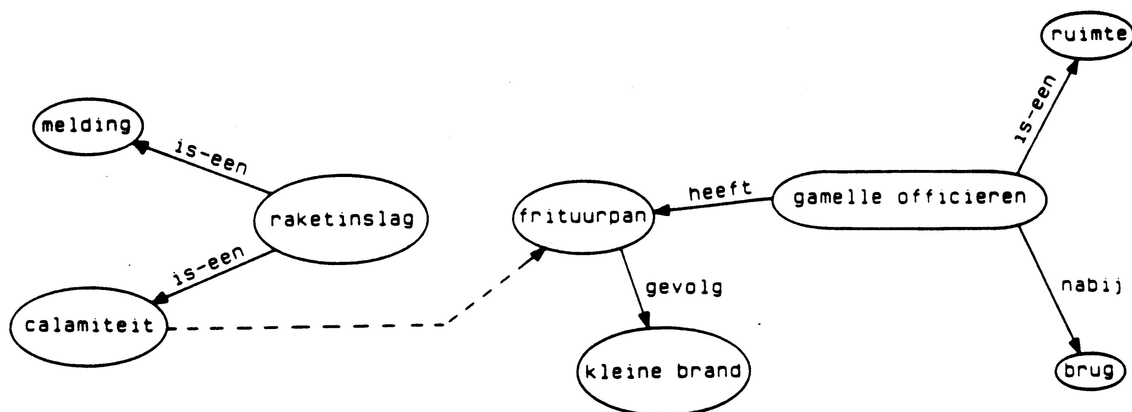


Fig. 1: Mogelijk semantisch netwerk van een beginnende D-officier.

In de figuur zijn begrippen in ovalen weergegeven. Relaties tussen begrippen zijn met pijlen weergegeven. De permanente relaties zijn d.m.v. getrokken lijnen weergegeven; de relaties die op het moment van de melding gelegd worden zijn d.m.v. onderbroken lijnen weergegeven.

Fig. 2 geeft een deel van het mogelijk semantisch netwerk weer van een gevorderde D-officier, weer bij de melding "inslag raket in gamelle officieren". De onderbroken lijnen geven de relaties weer die de gevorderde D-officier legt tussen de hoofdknooppunten "raketinslag", "gamelle officieren", en "NATO Sea Sparrows".

Fig. 2: Mogelijk semantisch netwerk van een gevorderde D-officier.

De verschillen tussen beide netwerken zitten vooral in de gevolgen en de relatie met de bergplaats NATO Sea Sparrows: beginners leiden minder gevolgen af uit de melding "inslag raket in gamelle officieren"; zij beschikken blijkbaar niet over voldoende algemene kennis van calamiteiten om dergelijke relaties te leggen. In dit experiment realiseerden de beginners zich niet dat de inslag van een raket zeer ernstige gevolgen heeft. Beginners beschikken ook niet over voldoende scheepskennis om een verband te leggen tussen gamelle officieren en de bergplaats NATO Sea Sparrows: de bergplaats is potentieel een gevaarlijke ruimte (opslag munitie!), en een inslag in gamelle officieren zal waarschijnlijk gevolgen hebben voor deze ruimte, omdat beide ruimtes dicht bij elkaar liggen.

Het veel rijkere netwerk van de gevorderde D-officier verklaart waarom deze meer onthoudt dan een beginner: ieder te onthouden knooppunt kan via meerdere relaties bereikt worden. De D-officier heeft meer geassocieerd met een bepaald knooppunt. Er zijn dus meerdere 'ingangen' naar dat knooppunt, waardoor de kans groter wordt dat dat knooppunt herinnerd wordt. Een beginner heeft bij ieder knooppunt slechts één of twee ingangen; als deze ingangen niet herinnerd kunnen worden, kan het knooppunt niet herinnerd worden.

Bovenstaand voorbeeld laat zien dat voor het bepalen van oorzaken en gevolgen een grote hoeveelheid declaratieve kennis noodzakelijk is. Dat beginners minder oorzaken en gevolgen bepalen komt doordat zij over minder declaratieve kennis beschikken, en meer informatie vergeten dan gevorderden.

7. IMPLICATIES

De resultaten van dit onderzoek hebben implicaties voor de specificaties van een beslissingsondersteunend systeem. Het zal duidelijk zijn uit het voorgaande dat een dergelijk systeem een grote hoeveelheid scheepskennis moet bezitten. Men kan zich voorstellen dat een D-officier de plaats van een calamiteit op een scherm aanklikt, en dat het systeem vervolgens nabijgelegen kritieke compartimenten en systemen doet oplichten. Een stap verder zou zijn om het type calamiteit door het systeem te laten classificeren, en vervolgens bij dit type calamiteit mogelijke oorzaken en gevolgen te genereren.

Uit het onderzoek blijkt dat empirisch psychologisch onderzoek een belangrijke eerste stap is om de verschillende soorten kennis te specificeren die een rol spelen bij de uitvoering van een bepaalde taak. Voor de Kunstmatige Intelligentie is dit type onderzoek van belang om bepaalde intuïties die men heeft ten aanzien van soorten kennis in een taak al dan niet te weerleggen.

REFERENTIES

[1] Woods, D.D. (1987). Commentary: Cognitive engineering in complex and dynamic worlds. International Journal of Man-Machine Studies 27, 571-586.

[2] Simon, H.A. (1981). The Sciences of the Artificial, 2nd edition. Cambridge, Mass.: MIT Press.

[3] Clancey, W.J. (1985). Heuristic classification. Artificial Intelligence 27, 289-350.

[4] Anderson, J.R. (1983). The Architecture of Cognition. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

[5] Chase, W.G. en Ericsson, K.A. (1981). Skilled memory. In: J.R. Anderson (Ed.), Cognitive Skills and Their Acquisition. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.

DE MOGELIJKHEDEN VAN EXPERTSYSTEMEN IN VERKEER EN VERVOER NADER BEKEKEN

E. Verroen
M.J.M. van der Vlist

Verkeers- en VervoersGroep
Instituut voor Ruimtelijke Organisatie TNO

Postbus 45
2600 AA DELFT

SAMENVATTING

INRO-TNO heeft voor het Projectbureau voor Integrale Verkeers- en Vervoersstudies van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een verkennende studie uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van expertsystemen in het verkeer en vervoer. Geconstateerd is dat er vele kansrijke toepassingen bestaan. In deze bijdrage worden een aantal toepassingen genoemd, waarvan er enkele in de Angelsaksische landen op dit moment zijn of worden geïmplementeerd. In navolging van die initiatieven zouden ook in Nederland meer activiteiten in de studies naar expertsystemen in het verkeer en vervoer moeten worden ontplooid.
Voor INRO-TNO is deze studie aanleiding geweest om een prototype expertsysteem te ontwikkelen dat ondersteuning levert bij de toepassing van de wet geluidshinder.

1. INLEIDING

In opdracht van het Projectbureau voor Integrale Verkeers- en Vervoerstudies (PB-IVVS) van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft de Verkeers- en Vervoersgroep (VVG) van het Instituut voor Ruimtelijke Organisatie (INRO) TNO een korte verkennende studie uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden die expertsystemen voor het verkeer en vervoer hebben (Verroen, Van der Vlist, 1988 [1]). Het doel van de studie was zowel enige duidelijkheid te verschaffen in de plaatsbepaling van expertsystemen ten opzichte van andere informatiesystemen als het aangeven van onderwerpen betreffende het verkeer en vervoer waarbij voor expertsystemen kansrijke toepassingsmogelijkheden bestaan. In deze bijdrage wordt slechts kort ingegaan op het eerst genoemde onderdeel van de studie. Wij willen vooral wijzen op de (potentiële) toepassingsmogelijkheden in de praktijk. Uitgebreid zal aandacht worden besteed aan de in literatuur

aangetroffen, gerealiseerde en voorziene, toepassingen. Vooral in Engeland blijkt dat, mede ook door het stimuleringsbeleid van de overheid in deze, veel aan toepassingen van expertsystemen wordt gewerkt. Hierbij worden zowel prototypen als volwaardige toepassingen ontwikkeld. Het aantal concrete toepassingen in Nederland blijkt vooralsnog gering.

2. EXPERTSYSTEMEN

Expertsystemen vormen één van de vele typen informatiesystemen die heden ten dage worden gebruikt. Het is een van de werkterreinen op het gebied van de artificiële intelligentie (AI), een tak van de informatica die zich bezighoudt met het nabootsen van menselijke functies als zien, horen, spreken, tast en redeneren in computers (Op 't Veld, 1986 [2]). Expertsystemen simuleren experts. Zij richten zich op het heuristische (redeneer) proces dat door deskundigen op een bepaald vakgebied wordt gevolgd bij het oplossen van problemen.

De kenmerkende eigenschappen van expertsystemen zijn:
- de mogelijkheden om te adviseren en te beslissen;
- de verklaring en de verantwoording van gevolgde redeneringen;
- de programma opzet op basis van regels, ook wel 'pattern matching inference programming' genoemd (Wheatley, 1984 [3]), voornamelijk in de vorm van als ... dan ... regels;
- het expliciet incorporeren van onzekerheden en kennislacunes.

In de literatuur (Meulen, 1986 [4]) wordt onderscheid gemaakt tussen een vijftal typen informatiesystemen.

- Management informatiesystemen
- Ruimtelijke informatiesystemen of Geografische informatiesystemen
- Monitoring systemen
- Decision Support systemen
- Expertsystemen

Lange discussies zijn te voeren over de afbakening cq het onderscheid tussen de diverse typen systemen. In de voor het PB-IVVS uitgevoerde studie is door de auteurs geconcludeerd dat het opstellen van een uitputtende en strikte definitie van wat een expertsysteem is alleen niet zinvol lijkt bij een analyse van de toepassingsmogelijkheden; het is beter om de aandacht te richten op de uitdaging die spreekt uit de methodologie en (gebruiks)filosofie van expertsystemen en de vele nieuwe mogelijkheden die dit betrekkelijk nieuw stuk gereedschap biedt bij de besluitvorming, de beleidsvoorbereiding en de beleidsuitvoering, zowel bij overheden als bedrijven. Vanuit deze gedachtengang kenmerkt een expertsysteem zich als een informatiesysteem dat is ontwikkeld met behulp van expert-systeem-shells en/of symboolgerichte programmeertalen. Per toepassing dient een afweging te worden gemaakt van de voor- en nadelen van de methodiek van expertsystemen ten opzichte van meer traditionele numerieke algoritmische procedures of andere vierde generatie software-tools.

Om een zekere structurering in de toepassingsmogelijkheden te krijgen is in het kader van de voor het PB-IVVS uitgevoerde studie door het INRO een categorisering opgesteld voor de toepassingsgebieden van

expertsystemen op het terrein van verkeer en vervoer. Centraal in die indeling staat het gebruiksdoel waarvoor het expertsysteem wordt ontwikkeld. Deze indeling zal, als vele anderen, niet leiden tot een eenduidig en strikt onderscheid in typen expertsystemen. Veel expertsystemen zullen meerdere gebruiksdoelen in zich verenigen. Wel bestaan er tussen de categorieën duidelijke verschillen in de aard en de werking van de expertsystemen.
Er worden vijf categorieën expertsystemen onderscheiden:
1. de toepassing van regelgeving en procedures;
2. de feitelijke overdracht van data e.d.;
3. de cognitieve overdracht van specialistische kennis;
4. de ondersteuning van besluitvorming (Decision Support Systems);
5. het modelleren van het individueel beslisgedrag.

In tegenstelling tot b.v. de medische wereld zijn in de verkeers- en vervoerwereld nog geen volledig operationele systemen in gebruik. Met name in de angelsaksische landen worden veel prototype toepassingen van expertsystemen in het verkeer en vervoer ontwikkeld. In de rapportage worden een aantal in de literatuur aangetroffen voorbeelden besproken. In de angelsaksische landen wordt middels colloquia en middels stimulering vanuit de overheid intensief aan invoering van expertsystemen bij het verkeer en vervoer gewerkt. Dit in contrast met de Nederlandse situatie, waar nog nauwelijks concrete initiatieven binnen de verkeers- en vervoersector bestaan. Nederland loopt op dit vlak achter.
In deze bijdrage wordt een aantal kansrijke toepassingen van expertsystemen in het verkeer en vervoer besproken. Het betreft toepassingen binnen drie van de hiervoor genoemde categorieën. Onze indruk is dat met name door, in navolging van het buitenland, te starten met het ontwikkelen van prototypen en het geven van voorlichting ook in Nederland de invoering van expertsystemen bij het verkeer en vervoer kan worden gestimuleerd.

3. ENKELE GEREALISEERDE EN VOORZIENE TOEPASSINGEN NADER BEKEKEN

3.1 Systemen van de categorie cognitieve kennisoverdracht

a. Rittengeneratiesysteem voor supermarkten

JMP Consultants Ltd. [5] ontwikkelt in samenwerking met "the Transportation Engineering Research Unit of Napier College, Edingburgh" een expertsysteem t.b.v. analyse van de rittengeneratie van supermarkten. Het in het verleden vaak gehanteerde verband tussen vloeroppervlak en ritten is onvoldoende gebleken. Het systeem bevat enerzijds de informatie die in de loop der jaren in een reeks van enquêtes is verzameld en anderzijds de kennis van verkeerskundigen die bepaalde berekeningsmethoden hanteren. Het systeem biedt evaluatiemogelijkheden van de verschillen die deze methoden opleveren. Tevens is het systeem geschikt om op dit terrein onervaren verkeersdeskundigen op te hoogte te brengen van de problematiek en de oplossingsrichtingen zonder dat daar weer ervaren deskundigen voor nodig zijn.

b. Een expertsysteem voor verkeersbeheersing

Door de "Transport Research Group, Department of Civil Engineering, University of Nottingham" [6], wordt studie verricht naar een expertsysteem voor verkeersbeheersing. Om congestie in een stedelijk netwerk te voorkomen moet een expertsysteem worden ontwikkeld dat is gebaseerd op automatische incidenten detectie, continue monitoring van het actuele verkeersbeeld, en strategieën omtrent route geleiding (expert kennis). Bij actueel verkeersbeeld moet ook worden betrokken het beeld buiten het stedelijk net; ook informatie over de situatie buiten de stad, die van invloed is op het te verwachten beeld in de stad, is van belang.

c. De situering van het wegmeubilair

Door het "Department of Civil Engineering at the University of Newcastle upon Tyne" [7], wordt een demonstratie expertsysteem ontwikkeld dat als doel heeft het veiligheidsaspect van de situering van het wegmeubilair te beoordelen. Het systeem bepaalt de kans van diverse ongevallen door een enkel voertuig, ook bij verschillende plaatsingen en uitvoeringen van het wegmeubilair. Het systeem geeft ondersteuning bij het bepalen van de plaats waar een bord e.d. moet worden geplaatst.

d. Een expertsysteem voor een optimaal transportnetwerk

Door het "Department of Civil Engineering, University of Washington" [8] is een expertsysteem ontwikkeld voor het ontwerpen van een optimaal netwerk. Het criterium is een samenstelling van een aantal factoren zoals kosten, intensiteit/capaciteit verhouding en gemiddelde reistijd. Het te ontwikkelen systeem moet kunnen optimaliseren gegeven dergelijke conflicterende criteria en tevens toepasbaar zijn voor grote netwerken. Bestaande systemen geven voor grote netwerken al snel onaanvaardbare rekentijden. Mede omdat voor de oplossing van het probleem geen geschreven expertkennis voorhanden was, is de kennis middels experimenten verzameld. Een groep studenten is gevraagd om een ontwerpprobleem op te lossen en daarbij hun strategie en verwachtingen aan te geven. Het resultaat is een expertsysteem dat in gemiddeld minder stappen een aanmerkelijk betere oplossing leverde. Een en ander heeft geleid tot verdergaande studies.

3.2 Systemen van de categorie ondersteuning besluitvorming

a. Reizigersinformatiesysteem

In Engeland heeft de "TRACE community club" [9] (waarin bedrijven, softwarehuizen en universiteiten samen komen) een aanzet gegeven tot de ontwikkeling van een prototype reizigersinformatiesysteem. Dit systeem is mede gefinancierd in het kader van het Britse informaticastimuleringsplan Alvey (programme for advanced information technology). Dit expertsysteem omvat het Londense bus- en metronet. In het systeem is de informatie opgeslagen in zeer nauw aan elkaar gekoppelde databases. Er is vanwege eisen aan responstijden niet gewerkt met de reeds elders, bij de vervoermaatschappijen, locaal opgeslagen informatie die ook decentraal benaderbaar is. Het systeem adviseert mede op basis van wat in het reizen als aangenaam en onaangenaam wordt ervaren en op basis van het gemak van overstappen.

Bij het opgeven van herkomst en bestemmingsnamen wordt ingespeeld op voor dezelfde plaatsen te hanteren spellingvarianten.

b. Boekingssysteem vakantiereizen

De reeds genoemde TRACE club heeft ook de aanzet gegeven tot de ontwikkeling van een adviserings- en boekingssysteem voor verzorgde vakantiereizen. Het systeem beperkt zich niet strikt tot adviseren maar acteert daarbij ook als (hulp-)verkoper van reizen. Het systeem maakt gebruik van decentraal gelegen databases, waaronder b.v. de "Thomas Cook Information Bank" via standaard videotext. Het systeem maakt elders gelegen data toegankelijk zonder dat de gebruiker specifieke kennis nodig heeft van de te bezigen benaderingssmethode.

c. Kennissystemen in voertuigen

Door de "Knowledge Based Systems Group at Logica Cambridge Ltd" [10] wordt onderzoek verricht naar een experimenteel systeem voor de ondersteuning van de bemanning van (militaire) voertuigen in samenhang met andere voertuigsystemen. In de negentiger jaren zal dit systeem operationeel moeten zijn. Het systeem zal ondersteuning moeten leveren bij de navigatie en de uitvoering van de opgedragen missie. Het systeem zal moeten inspelen op de capaciteiten van de individuele bemanningsleden. Het zal de uit te voeren taken moeten optimaliseren. Het zal diagnoses moeten stellen t.a.v. het voertuig voor onderhoud en beschikbaarheid. Het zal rekening moeten houden met invloeden (en situaties) van buiten het voertuig.

d. Route advisering

Door het "Department of computer science at Liverpool University" [11] wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een route adviseur voor het Schotse autowegennet. Eén van de doelstellingen van het systeem is om nadrukkelijk in te spelen op de individuele gebruiker: de reeds aanwezige kennis van de gebruiker en zijn geplande routekeuze. Het expertsysteem adviseert, vult aan en verbetert ten aanzien van voorgenomen of nog onbekende routekeuzen. Het systeem houdt daarbij voortdurend bij wat de gebruiker weet.

e. Planning van grote aantallen voertuigen

Door de "ART Marketing group" [12] is een expertsysteem ontwikkeld voor het plannen van een groot aantal voertuigen voor alle leveringen op een dag (onder aanname van een aantal vereenvoudigingen). Geconcludeerd werd dat de toepassing van expertsystemen op dit terrein heel wel mogelijk is, en dat het ontwikkelde systeem uitbreidbaar is naar meer complexe situaties.

3.3 Systemen van de categorie individueel beslisgedrag

a. Onderzoek naar verkeersongevallen

Aan de "Transport studies group, University of London" [13] wordt onderzoek verricht naar de toepassing van expertsystemen bij het onderzoek naar onderliggende oorzaken van verkeersongevallen. Doel van het systeem is om op basis van ongevalleninformatie "oorzaken regels"

vast te stellen; deze regels zouden dan toepasbaar moeten zijn bij andere situaties. In feite is hier dus sprake van een lerend systeem. De eerste experimenten waren niet erg succesvol, en meer fundamenteel onderzoek op dit terrein is nog vereist.

4. KANSRIJKE TOEPASSINGEN IN HET VERKEER EN VERVOER

Op basis van bevindingen, gesprekken met deskundigen en uit interne discussies is een overzicht opgesteld van kansrijke toepassingen van expertsystemen binnen het verkeer en vervoer. In deze bijdrage worden enkele belangrijke toepassingen uit dit overzicht behandeld. In hoeverre expertsystemen bij de genoemde toepassingen werkelijk een meerwaarde ten opzichte van meer traditionele, numerieke systemen zullen hebben, zal in een nadere uitwerking van de toepassingen moeten blijken. Wel kan in dit verband worden gewezen op een belangrijke conclusie getrokken door Bonsall en Kirby (1986) [14] die ten aanzien van de kansen van expertsystemen op het terrein van verkeer en vervoer stelden dat "de applicaties al gauw veeleisend zullen zijn voor deze systemen, omdat ze veel meer dan tot nog toe in staat moeten zijn kwantitatieve bewerkingen te integreren met het redeneerproces".

Het overzicht sluit aan bij de eerder gegeven categorie-indeling. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de toewijzing aan een bepaalde categorie nooit voor 100% geldt, maar dat een onderwerp aan de voor dat onderwerp meest aansprekende categorie is toegewezen.

a. **de toepassing van regelgeving en procedures.**

a1. De vergunning- en subsidieverlening lijkt typisch een gebied dat in aanmerking komt voor implementatie middels een expertsysteem. Er is (daar mag althans van worden uitgegaan) sprake van eenduidig vastgelegde voorwaarden, die bij gebruik van een expertsysteem ook eenduidig worden geïnterpreteerd. Daarnaast is dus veelal sprake van decentrale toepassing hetgeen de eenduidigheid van interpretatie alleen maar noodzakelijker maakt.

a2. De ruimtelijke planvorming in Nederland heeft een sterk procedureel karakter. O.a. in de Wet Ruimtelijke Ordening (WRO) en Het Besluit Ruimtelijke Ordening (BRO) zijn tal van richtlijnen en voorschriften ten aanzien van planprocedures opgenomen waarlangs planvorming dient plaats te vinden. Een duidelijk voorbeeld op het terrein van verkeer & vervoer is de procedure die leidt tot de vaststelling van een wegtracé. De kenmerken van dit soort procedure's (complex, decentrale uitvoering, centrale herzieningen, noodzakelijke ondersteuning van deskundigen bij de uitvoering) maken dat expertsystemen op dit terrein goede diensten kunnen bewijzen.

b. **feitelijke kennisoverdracht**

b1. In het verkeer en vervoer worden op tal van plaatsen gegevens verzameld en gebruikt. Dit resulteert in databestanden, resultaten van studies e.d. De toegankelijkheid tot deze informatie laat nog wel eens te wensen over; met name voor niet

ingewijden is de informatie en zeker de eigenschappen van de informatie niet bereikbaar. Een expertsysteem kan assisteren bij het ontsluiten van databestanden (en studieresultaten) via advisering, selectie en uitvoermanipulatie. De achterliggende theorie bij bestandcombinatie (fusie-technieken) behoeft nog wel nadere omschrijving.

c. **cognitieve kennisoverdracht**

c1. Voor het voeren van het verkeers- en vervoerbeleid is het vaak noodzakelijk te beschikken over enige verkeer en vervoer kentallen. Deze kentallen worden vaak gegenereerd op basis van ervaringsgegevens. Een expertsysteem kan minder deskundigen hierbij assisteren. Bijkomend voordeel van zo'n systeem is de verhoging van de uniformiteit. De complexiteit zal in het algemeen per onderwerp niet te hoog zijn.

c2. Voor het verkeers- en vervoeronderzoek is een breed scala aan verkeers- en vervoermodellen beschikbaar. Het is, voor de meeste gebruikers, niet eenvoudig om in concrete situaties aan te geven welk model voor het onderhavige probleem het meest toegesneden is; dit mede omdat vaak ook de beschikbare informatie daarvoor bepalend is. Een expertsysteem kan adviseren bij het selecteren (welke), hanteren (invoerspecificatie, resultateninterpretatie) en koppelen (uitwisseling resultaten tussen modellen) van deze modellen. De theorie achter zo'n expertsysteem zal eerst nog moeten worden vastgelegd en aanvaard. De complexiteit van het systeem is hoog.

d. **ondersteuning van besluitvorming**

d1. In Nederland wordt door de NS gewerkt aan een reizigersinformatiesysteem; dit lijkt niet, zoals in het eerder behandelde Engelse voorbeeld, te worden opgezet middels een expertsysteem. Juist door gebruik te maken van een expertsysteem kan een reisadvies aan waarde winnen; het systeem kan inspelen op specifieke wensen en behoeften van gebruikers (adviseren over rustiger reisperioden, extra kortingsmogelijkheden). Zowel voor reizigers als automobilisten is sprake van complexe systemen; de grote hoeveelheid gegevens en het grote aantal reismogelijkheden en de vereiste korte responstijden zijn hiervan de oorzaak.

d2. Op het nederlandse wegennet staan regelmatig de nodige files. Een route-advisering systeem kan automobilisten, door in te spelen op het actuele verkeersaanbod, adviseren in de te volgen routes. In Nederland en in EEG-kader worden studies verricht naar dergelijke systemen die als zeer complex worden gezien. Het zou moeten bewerkstelligen dat optimaal gebruik wordt gemaakt van de beschikbare capaciteit van het infrastructuur netwerk.

d3. Alvorens een nieuwe weg wordt aangelegd, zal het tracé moeten worden bepaald. Hiervoor zijn vaak verschillende alternatieven mogelijk. Bij de afweging komen zaken aan de orde als kosten, milieu-effecten, verkeersveiligheid, capaciteit en geluidhinder. Een expertsysteem kan bij zo'n tracé-bepaling ondersteuning verlenen. Een probleem dat hierbij optreedt is bijvoorbeeld de

onderlinge afweging van de vaak tegengestelde beoordelingsaspecten. De complexiteit is vrij groot.

d4. Vervoermaatschappijen werken op basis van vaste dienstregelingen. Daarnaast dienen echter regelmatig ritten te worden ingepast, b.v. extra treinen voor het vervoeren van voetbalsupporters. Bij de inpassing (o.a. materieel en personeel inzet) kan ondersteuning door expertsystemen van nut zijn. Het betreft vanwege voorschriften, aantallen, onderhoudseisen, veiligheidseisen ed wel zeer complexe systemen.

e. **het modelleren van het individueel beslisgedrag**

e1. Door TNO is in 1986 een onderzoek verricht naar de mogelijkheden van het combineren van kennissystemen en "decision plan nets (DPN)" (zie Op 't Veld e.a., 1986 [2]). De DPN-methode heeft tot doel een systematisch beeld op te bouwen van een individueel beslisproces. In een, per individu, op te stellen beslisboom worden de elementen, hun rangorde en alternatieven in het beslisproces vastgelegd. De opbouw van de DPN sluit aan bij de structuur van kennissystemen met hun ALS .... DAN structuur. Toepassing van modellering van individueel beslisgedrag binnen verkeer en vervoer (b.v. vervoerwijzekeuze) biedt nieuwe methodische mogelijkheden.

Het beknopte overzicht onderschrijft onze stellige indruk dat er een groot aantal interessante onderwerpen is waarbij expertsystemen in het verkeer en vervoer zijn toe te passen. Het betreft zowel onderwerpen die nu nog alleen door specialisten worden uitgevoerd (bv geluidhinderberekening) als onderwerpen die tot nu toe niet voor implementatie in instrumenten en informatiesystemen in aanmerking zijn gekomen. Er zijn dus onderwerpen genoeg waarbij een nuttig gebruik kan worden gemaakt van de specifieke kenmerken van expertsystemen en van de meerwaarde van expertsystemen ten opzichte van andere implementatiemethoden. Wat die meerwaarde dan kan zijn laat zich het beste aan de hand van een concreet toepassingsvoorbeeld illustreren. In de volgende paragraaf wordt zo'n voorbeeld behandeld.

5. HET EXPERTSYSTEEM GELUID

5.1 Inleiding

Op tal van plaatsen worden plannen ontwikkeld voor de aanleg of verandering van een weg of voor woningbouw. Via de wet geluidhinder is voorgeschreven dat dergelijke plannen, in een aantal gevallen en onder bepaalde voorwaarden, dienen te worden getoetst aan de in wet gestelde normen. In de wet geluidhinder en de daarop verschenen toelichtingen zijn zaken gedefinieerd rond de volgende onderwerpen:
- de toepassingsvoorschriften (waar en wanneer);
- de berekeningsmethode (welke methode onder welke omstandigheden);
- indicatieve methoden (in de gevallen dat de eenvoudige methode strikt genomen niet mag worden toegepast);
- de in de wet gestelde normen, zowel grenswaarden als voorkeurwaarden;
- maatregelen om de geluidhinder te doen verminderen;

- effecten van geluidreducerende maatregelen;
- voorschriften voor de rapportage van de berekeningen.

Door VVG is voor demonstratie-doeleinden een prototype expertsysteem "GELUID" ontwikkeld, dat zich richt op enkele van de hierboven genoemde onderwerpen. Het door VVG ontwikkelde prototype expertsysteem heeft de volgende functies:
- het kunnen demonstreren van een toepassing van expertsystemen in verkeer en vervoer;
- het kan als basis dienen voor verdere kennisvergaring over het onderwerp door het voor te leggen aan geluidhinderspecialisten;
- het heeft gefungeerd als systeem waarmee de VVG-kennis rond het ontwikkelen van expertsystemen is vergroot;
- het geeft inzicht in de implementatie(-problemen) van expertsystemen.

Er is gekozen voor het onderwerp geluidhinder omdat:
a. er sprake is van een sterk afgebakend probleem;
b. het betrekking heeft op verschillende toepassingsgebieden van expertsystemen (de toepassing van regels en procedures, feitelijke kennisoverdracht, cognitieve kennisoverdracht en ondersteuning van de besluitvorming);
c. het goed in fasen is te ontwikkelen;
d. de theorie zeer goed is beschreven;
e. er direct aan kon worden begonnen.

5.2 Toepassingsgebied

Het gebruik van een informatiesysteem geluidhinder dat is ontwikkeld als expertsysteem zal anders zijn dan wanneer er een meer traditionele implementatie vorm zou zijn gekozen (volgens welke overigens reeds meerdere pakketten op de markt bestaan).
De traditionele werkwijze is als volgt globaal te beschrijven:
Er worden plannen ontwikkeld om een weg te veranderen of aan te leggen, om woningbouw te plegen e.d. Dergelijke plannen resulteren in eerste instantie in ontwerptekeningen, waarop de nieuwe situatie, en zo mogelijk de wijzigingen t.o.v. de bestaande situatie, is weergegeven. Deze plannen gaan vervolgens naar de verkeersafdeling die de intensiteiten schat (mogelijk gebruik makend van verkeersmodellen) in de nieuwe situatie. Deze intensiteiten tezamen met de plannen gaan naar de afdeling geluidhinder, waar de geluidspecialist vervolgens berekeningen maakt van het te verwachten geluidsniveau en deze confronteert met de normen. Indien het berekende geluidsniveau onaanvaardbaar is, wordt weer teruggegaan naar de plannenmaker die een alternatief zal moeten ontwerpen. Hier is dus sprake van een sprongsgewijs ontwerpproces, waarbij in een vroeg stadium al veel partijen zullen zijn betrokken, en waarbij de doorlooptijd van het ontwerpproces lang is.
Gebruik makend van expertsystemen is de volgende werkwijze voorstelbaar:
Tijdens het ontwerpproces consulteert de ontwerper expertsystemen, b.v. met betrekking tot geluidhinder, om een eerste indicatie te krijgen of de plannen in overeenstemming zijn met de wettelijke voorschriften. De ontwerper gebruikt een globaal systeem, dat direct informeert over mogelijk te verwachten problemen, bijvoorbeeld met

betrekking tot de wet geluidhinder. Zo'n ontwikkelproces resulteert in een ontwerp waarvan de "officiële" toetsing een aanmerkelijk grotere kans van slagen heeft dan bij de traditionele werkwijze. De voordelen zijn duidelijk:

a. het ontwikkelproces verloopt minder sprongsgewijs;
b. de doorlooptijd van planontwikkeling wordt bekort;
c. de specialisten (b.v. van de afdeling geluidhinder) worden minder belast met routinematige zaken en kunnen hun aandacht richten op meer ingewikkelde problemen.

5.3 Prototype

Het prototype GELUID is ontwikkeld op een AT-micro computer, waarbij gebruik is gemaakt van de expertsystem shell "PCPLUS" (van TI). Het voldoet aan de kenmerken van expertsystemen zoals die in hoofdstuk 2 zijn aangegeven. Het prototype maakt de geluidhinderberekening voor een zgn. puntbelasting en is bedoeld voor personen die nauwelijks of geen kennis hebben van geluidhinderberekeningen. Zelfs personen die vrijwel niet op de hoogte zijn van verkeer(-sintensiteiten) kunnen schattingen maken. Daarom is een van de meest in het oog springende kenmerken, en het kenmerk waarmee een kennissysteem zich het meest onderscheidt van een "conventioneel" systeem, dat het systeem ontbrekende informatie via alternatieve wegen probeert te achterhalen, dan wel op basis van reeds bekende informatie (ervaringskennis) wordt geschat. Het prototype werkt (nog) niet met onzekerheden; deze eigenschap van expertsystemen is wel met behulp van de gebruikte shell te implementeren en kan zeer goed worden toegepast in de gevallen dat het systeem bepaalde aannamen heeft moeten doen.
Het ontwikkelde prototype is opgebouwd in een aantal delen. Voor de gebruiker is dit transparant en in feite niet relevant.
Alhoewel nu nog slechts het deel wegverkeer is geïmplementeerd, heeft de wet geluidhinder ook voorschriften voor railverkeerslawaai, industrielawaai en lawaai van inrichtingen.
In schema 1 wordt de werking van het expertsysteem toegelicht.

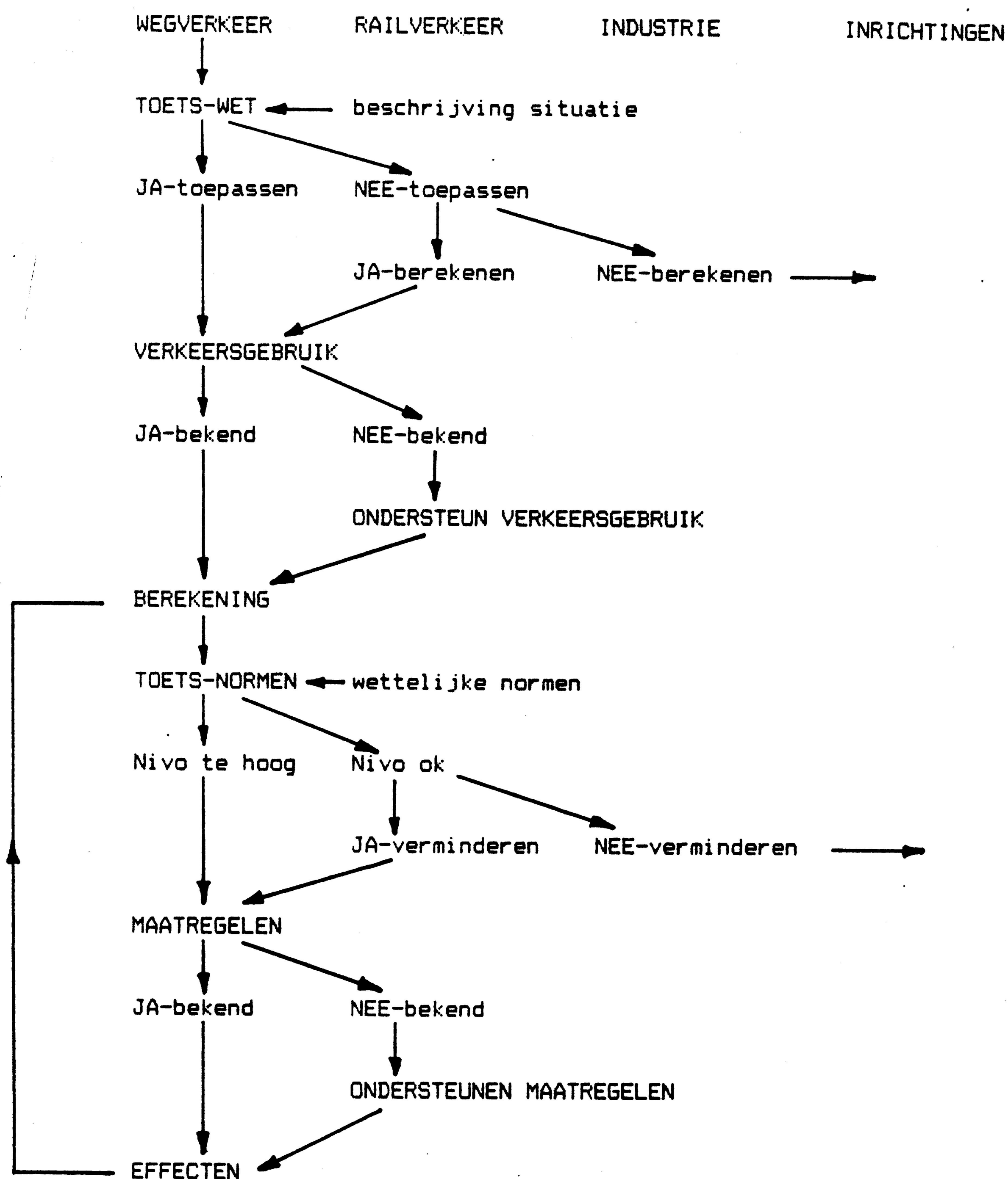
6. CONCLUSIES

Er bestaan tal van kansrijke toepassingen van expertsystemen in het verkeer en vervoer. Niet alleen wordt een nieuwe aanpak van sommige problemen geboden, ook kunnen meer mensen in staat worden gesteld specialistische problemen op te lossen. De overal optredende decentralisatie noodzaakt ook het decentraliseren van kennis en hulpmiddelen. Computerondersteund werken met kennissystemen opent hiervoor de mogelijkheden.

Uit literatuur is gebleken dat met name in de Angelsaksische landen veel onderzoek wordt gedaan naar kennissystemen, ook in het verkeer en vervoer. Op grote schaal en gestimuleerd door de overheid worden daar prototypen ontwikkeld.

In Nederland moet aan deze techniek meer aandacht worden besteed. De methode is de kindertijd ontgroeid en zal meer dan voorheen als implementatie methode moeten worden overwogen. Een aanpak via

ondermeer het opdoen van ervaring middels prototyping en eenvoudige toepassingen is daarbij aan te bevelen.



Schema 1: Werking prototype expertsysteem geluid

REFERENTIES

[1] Verroen, E. en M. van der Vlist; Expertsystemen in verkeer en vervoer, een verkenning van mogelijke toepassingen van expertsystemen op het terrein van verkeer en vervoer; INRO-TNO, Delft; 1988.

[2] Op 't Veld A.G.G., E.F. Bijlsma, J.G.M. Starmans; Individuele gedragsmodellen 'n Verkenning van kennissystemen en decision plan nets; INRO-TNO, Delft;1986.

[3] Wheatley, M.D.; Expert systems in transport; Working paper 178; University of Leeds; 1984.

[4] Meulen, G.G.; Van informatiesysteem tot expertsysteem; Technische Universiteit Eindhoven, 1986.

[5] Hazel G.Mcl., S.C. Bell; A trip generation database for large retail stores and its development into an expert system; JMP consultants and the Transportation Engineering Research Unit of Napier College, Edinburgh; 1988.

[6] Ambrosino G., G. Boccassi, M. Boero, A. Valcada; Knowledge-based techniques in traffic control systems; Automa scrl, Genua Italie; 1988.

[7] Ramache A., M.G.H. Bell; The location of roadside objects: an expert system to assess the safety aspect; Department of civil enginreeing, university of Newcastle upon Tyne; 1988.

[8] Shieng-I T., J.B. Schneider; Designing optimal transportation networks: an expert systems approach; Department of civil engineering, university of Washington; 1987.

[9] Williams G; Knowledge based travel information systems-Experience form the TRACE community club; Knowledge Bases Systems Group of Software Sciences Ltd; 1988.

[10] Jenkins P.; Towards on-vehicle real-time knowledge based systems; Knowledge Based Systems Group at Logica Cambridge Ltd; 1988.

[11] Anderton P.D.; User-modelling and route-finding with SMART, the scottish motorways advisory route tutor; Department of computer science, Liverpool University; 1988.

[12] Pauly G.S., D.R. Bedford; Scheduling large fleet of vehicles; a rule based expert system approach; ART marketing group, Ferranti Computer systems Ltd, Cwmbran; 1988.

[13] Theobald M., B. Heydecker; Understanding road accidents - a rule induction approach; Transport studies group, university college London; 1988.

[14] Bonsall, P. and H. Kirby; The role of expert systems in transport. In: Information Technology Applications in Transport, Utrecht, 1986.

EEN KENNISSYSTEEM VOOR DE WOONRUIMTEVERDELING IN DELFT: HET WONING-INFORMATIESYSTEEM

A.G.G. Op 't Veld, G.L. Lucardie,
J.G.M. Starmans en E.F. Bijlsma

Instituut voor Ruimtelijke Organisatie TNO

Postbus 45
2600 AA DELFT

SAMENVATTING

Het doel van het beleid van een gemeente inzake woonruimteverdeling is om de schaarse woonruimte - naar de maatstaven van de gemeente - zo optimaal mogelijk te verdelen over de woningvragers. De gemeente Delft hanteert hiervoor een puntensysteem, wat wil zeggen dat huishoudens, die zich inschrijven als woningzoekende, punten toebedeeld krijgen aan de hand van een aantal criteria. De verschillende situaties waarin vragers verkeren en de voortdurende verandering in het aanbod op de woningmarkt betekenen dat een rechtvaardig toedelingssysteem met nogal wat aspekten rekening moet houden en flexibel moet zijn.
"DELFT" is een kennissysteem voor woonruimte-informatie dat door het INRO-TNO samen met de afdeling Woonruimtezaken van de gemeente Delft is ontwikkeld. Het systeem geeft informatie over het individueel aantal punten en de woonruimte waarvoor men op grond daarvan in aanmerking kan komen. Bovendien kan dan snel duidelijk gemaakt worden wat het effect is wanneer woningzoekenden hun eisenpakket op specifieke punten aanpassen.

1. INLEIDING

Het doel van het beleid van een gemeente inzake woonruimteverdeling is om de schaarse woonruimte - naar de maatstaven van de gemeente - zo optimaal mogelijk te verdelen over de woningvragers. Delft is een van de gemeenten die een systeem ontwikkeld heeft om de vrijkomende woonruimte op een zo rechtvaardig mogelijke manier te verdelen over de woningzoekenden. Het systeem van de gemeente Delft is een puntensysteem, wat wil zeggen dat huishoudens, die zich inschrijven als woningzoekende, punten toebedeeld krijgen aan de hand van een aantal criteria. De verschillende situaties waarin vragers verkeren en de voortdurende verandering in het aanbod op de woningmarkt betekenen dat een rechtvaardig toedelingssysteem met nogal wat aspekten rekening

moet houden en flexibel moet zijn. In tabel 1.1 zijn wat kerncijfers over de Delftse situatie weergegeven.

Tabel 1.1 Kerncijfers over de Delftse situatie.

87 000	inwoners
12 000	ingeschreven woningzoekenden; waarvan
4 900	ingeschreven woningzoekenden zonder zelfstandige woning
60	mensen per dag aan de balie bij bureau huisvesting
10 000	gesprekken over de mogelijkheden op de Delftse woningmarkt per jaar

Opzet van het Delftse punten systeem is, dat het duidelijk, eenvoudig controleerbaar en objectief moet zijn. Het systeem is echter dermate complex geworden en de vraag naar informatie is zo groot, dat er behoefte is aan een woning-informatiesysteem. Met het beoogde woning-informatiesysteem zou de medewerker van woonruimtezaken vragen omtrent individueel aantal punten en de woonruimte waarvoor men in aanmerking kan komen, snel en duidelijk kunnen beantwoorden. Bovendien kan dan snel duidelijk gemaakt worden wat het effect is wanneer woningzoekenden hun eisenpakket op specifieke punten aanpassen.
Eén van de mogelijkheden om een dergelijk informatiesysteem te ontwikkelen, bieden technieken voor het ontwikkelen van kennissystemen. De informatie-analyse die nodig is bij de ontwikkeling van een kennissysteem, levert een bijdrage aan het doorzichtiger, juister en het consistenter maken van de toegepaste regelgeving.

Dit artikel beschrijft het kennissysteem voor woonruimte-informatie dat door het INRO-TNO samen met de afdeling Woonruimtezaken is ontwikkeld voor de gemeente Delft. Het projekt is opgezet om ervaring op het gebied van de kennistechnologie te verwerven. Hierbij is er van uit gegaan dat naast het leereffect het eindprodukt ook praktisch bruikbaar moet zijn.
Het projekt is onderdeel van een groter programma dat er op gericht is de mogelijkheden te onderzoeken van het toepassen van kennissystemen voor beleidsondersteuning in de ruimtelijke organisatie. Dit programma omvat naast een oriëntatie op kennissysteemtechnieken en beschikbare software het ontwikkelen van een drietal konkrete kennissystemen. Het woning-informatiesysteem Delft is het tweede systeem dat ontwikkeld is. Eerder is een systeem voor het verlenen van een hinderwetvergunning aan de intensieve veehouderij en de ecologische aspecten hiervan ontwikkeld (Planning, nr. 31, 1987). Momenteel wordt gewerkt aan een kennissysteem dat beleidsmedewerkers van gemeenten, provincies en rijk kan ondersteunen bij beslissingen omtrent aanpassing en uitbreiding van het woningaanbod.

2. PUNTEN ALS VERDEELSLEUTEL

In de gemeente Delft hebben de zes woningcorporaties, stichting studenten huisvesting en centraal woningbeheer samen zo'n 16.000 woningen in beheer. Dat is het grootste deel van alle huurwoningen in de stad. Als men voor één van deze huurwoningen tot 750 gulden kale huur per maand in aanmerking wilt komen, moet men zich als woningzoekende laten

inschrijven. Aan de inschrijving als woningzoekende zijn voorwaarden verbonden, de woningzoekende moet:

- 18 jaar of ouder zijn, in Delft wonen en minimaal 1 jaar in het bevolkingsregister zijn ingeschreven of
- 18 jaar of ouder en economisch aan Delft gebonden zijn. Dat wil zeggen dat men minstens de helft van het aantal uren dat de werkweek uitmaakt in Delft werkt of dat men in Delft een dagopleiding volgt of
- 18 jaar en ouder zijn, maar meer dan 2 jaar een uitkering ontvangen of
- na het bereiken van de leeftijd van 18 jaar langer dan zes jaar onafgebroken in Delft woonachtig zijn geweest of
- ouder zijn dan 65 jaar of
- tot één van de uitzonderingsgroepen behoren (ernstig invaliden, remigranten, enz.).

Iedere woningzoekende krijgt voor elke maand inschrijving één punt, de zogenaamde wachttijdpunten. In sommige gevallen wordt op het moment van inschrijving direct een aantal basis punten toegekend. Dit wordt bepaald door de categorie woningzoekende waartoe men behoort. In het puntensysteem wordt een indeling in zes categorieën gebruikt.
Deze categorieën zijn:

- Starters die in Delft wonen: zij bezitten geen zelfstandige woonruimte
- Doorstromers: woningzoekenden die in Delft wonen en in het bezit zijn van een zelfstandige woonruimte
- Immigranten: zij wonen niet in Delft. Er zijn 4 typen immigranten:
  a. startende immigranten die economisch gebonden zijn
  b. startende immigranten die niet economisch gebonden zijn
  c. niet-startende immigranten die economisch gebonden zijn
  d. niet-startende immigranten die niet-economisch gebonden zijn

Als starter kan men extra punten krijgen voor:

- leeftijd

jonger dan 20	12 punten
vanaf 20 t/m 24	18 punten
vanaf 25 t/m 29	24 punten
vanaf 30 t/m 39	30 punten
ouder dan 40	36 punten

- reistijd

	1-1,5 uur	1,5-2 uur	langer dan 2 uur
leeftijd jonger dan 25	18	24	30
ouder dan 25	36	48	60

Als doorstromer krijgt men extra punten voor:

- leeftijd

  60 jaar of ouder 36 punten

  50 jaar of ouder en wonend
  in een flat zonder lift op
  de derde of vierde woonlaag 36 punten
- als men in een zgn. HAT eenheid woont
- de huidige woning niet passend is (te groot of te klein)
- de huidige woning een eengezins- of benedenwoning is (maar men mag dan niet opnieuw naar een eengezins- of een benedenwoning verhuizen en de woning die verlaten wordt moet toewijsbaar zijn)

Voor alle categorieën gelden verder eventueel nog de stadsvernieuwingsgebied punten en de punten op grond van een medische of sociale indikatie. Het zou te ver voeren deze hier uitgebreid toe te lichten.

Naast de inschrijving en het aantal punten is voor de woningtoedeling van belang of een woonvergunning kan worden verstrekt. Voor alle woningen geldt een zgn. 'bezettingsnorm'. Deze is afhankelijk van de huur, het woning-type, het aantal kamers en de grootte van het huishouden. Verder moeten niet alleen de woninggrootte en de samenstelling van het huishouden op elkaar zijn afgestemd, maar er moet ook een passende verhouding zijn tussen huurprijs en inkomen.
Voor alle woningtypen, of het nu gaat om een ééngezinswoning of HAT eenheid, geldt een minimum aantal punten dat nodig is om voor zo'n woning in aanmerking te komen. Verder gelden alleen de wachttijdpunten als men naar een benedenwoning of ééngezinswoning wil verhuizen.
Dat puntenaantal schommelt en wordt bepaald door vraag en aanbod op de woningmarkt. Als naar een bepaald type woning veel vraag bestaat, maar er weinig woningen beschikbaar zijn, zal het benodigde puntenaantal stijgen. Verder verschilt het aantal punten per type woning, per aantal kamers en per wijk. In tabel 2.1 staan de minimaal benodigde puntenaantallen zoals de gemeente Delft deze per kwartaal in de plaatselijke dagbladen laat afdrukken.

Tabel 2.1 Overzicht minimaal benodigde puntenaantallen.
(peildatum 1-7-1988)

	Aantal kamers	Binnenstad	Wippolder/TH	Rotterdamseweg	Bieslandsekade	Bomenwijk	Delfgauwseweg	Oostsingel	Brasserskade	van Foreestweg	Sportfondsenbad	Spoorsingel	Westerkwartier	Voorhof	Pijperring	R de Graafweg	Minervaplein	Buitenhofdreef	Tanthof
Eengezinswoning (a)	2	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-
	3	-	120	130	130	-	-	140	115	-	-	125	125	-	-	-	-	-	105
	4	160	140	140	140	150	150	150	115	155	160	140	-	-	140	-	150	140	115
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	170	180	-	-	170	150	150	160	150	115
Benedenwoning (b)	2	100	-	120	-	85	-	-	85	-	-	-	100	-	-	-	-	-	85
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	140	-	-	-	-	-	-	-	150	-	-	160	160	155	-	155	-
Maisonette (beg grond en 1e etage	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85
	4	140	-	-	-	-	-	-	-	140	-	-	-	-	-	-	-	-	140
Maisonette (2e en 3e etage	3	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-	80
	4	120	-	100	-	-	-	-	-	110	-	-	-	-	-	-	-	-	120
	5	115	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	120
Bovenwoning	2	-	-	-	-	80	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75
	3	115	70	-	-	-	75	-	-	-	-	-	85	-	-	-	-	-	-
	4	-	70	100	125	-	80	-	-	-	85	-	95	-	-	-	-	-	-
Flat met/zonder lift op de 1e etage	2	-	80	-	80	85	-	-	-	80	-	-	85	80	85	85	-	85	-
	3	-	90	-	95	95	-	-	-	90	100	-	100	90	95	90	90	95	-
	4	-	95	-	95	110	-	-	-	95	120	-	115	95	105	100	100	105	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	135	-	115	-	75	-
Flat zonder lift 2e t/m 4e etage	3	-	85	-	85	90	-	-	-	85	90	-	90	-	90	85	-	90	-
	4	-	80	-	85	95	-	-	-	85	95	-	100	85	90	90	-	90	-
Flat met lift 2e t/m 4e etage	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	80	-	-	80	-
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	85	95	-	85	90	-
	4	-	85	-	-	-	-	-	-	95	-	-	-	80	85	-	85	95	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	-
Flat met lift boven de 4e etage	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	70	-	-	70	-
	3	-	-	-	135	-	-	-	-	80	-	-	-	75	75	-	75	75	-
	4	-	70	-	-	-	-	-	-	70	-	-	-	70	70	-	70	70	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H.A.T. eenheid (c)	1	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	-	60	60
	2	80	-	70	70	-	-	-	70	-	-	80	80	-	-	70	-	65	65
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80

3. KENNISSYSTEEMTECHNIEKEN

In dit hoofdstuk wordt een korte samenvatting gegeven van wat kennissystemen zijn.
Een algemene definitie is moeilijk te geven. Een mogelijke definitie zou kunnen luiden:

> 'een kennissysteem is een computer programma dat kennis bevat over een bepaald domein en dat door te redeneren met deze kennis een taak kan uitvoeren binnen dat domein'

In een kennissysteem zijn de regels of heuristieken die gebruikt worden voor de oplossing van problemen in een bepaald kennisdomein georganiseerd in een 'knowledge base'. Problemen worden aan het systeem gepresenteerd als een reeks feiten over een bepaalde situatie.

Het kennissysteem probeert vervolgens een conclusie te verbinden aan de feiten door de kennis uit de 'knowledge base' te benutten.
Heuristieken of heuristische regels zijn de op ervaring gebaseerde beoordelingsregels die gebruikt worden om op grond van feiten een beslissing te nemen. Ze vormen de kern van de 'knowledge base'. Eén van de eerste kennissystemen was een diagnose systeem voor bepaalde soorten ziekten. In de 'knowledge base' bevinden zich dan heuristische regels die symptomen verbinden aan een bepaalde ziekte. Wanneer het systeem geconfronteerd wordt met een patiënt en diens ziektebeeld in termen van een aantal symptomen wordt de informatie in de 'knowledge base' onderzocht op de bijpassende ziekte.
Dit zoekproces wordt gestuurd door het zgn. 'inferentiemechanisme' (inference engine), waardoor het niet meer gaat om het eenvoudig hanteren van een checklist van als...dan regels, maar meerdere als...dan regels in onderlinge samenhang een 'redenering' vormen.
De meeste kennissystemen kunnen geraadpleegd worden met behulp van een eenvoudig vraag- en antwoordspel. De antwoorden worden steeds gebruikt om de feiten vast te stellen op grond waarvan de 'knowledge base' doorzocht kan worden. Handig is dat de gebruiker het waarom van een gestelde vraag na kan gaan. Een essentieel kenmerk van een kennissysteem is, dat de gebruiker de mogelijkheid heeft om na te gaan op grond waarvan een conclusie is getrokken.

De structuur van een kennissysteem

Het merendeel van de ontwikkelde kennissystemen zijn zgn. 'rule based' of 'production systems'. Een 'production system' bestaat uit drie sleutelelementen : de 'rule base', het gegevensbestand en het inferentiemechanisme. Om de gebruiker een gemakkelijke toegang te garanderen omvat het systeem meestal nog drie andere onderdelen: een module voor kennisvergaring, een in omgangstaal werkende gebruikersingang en een verklaringskomponent.
De rulebase bestaat uit een aantal situatie-actie regels van een ALS ..., DAN . . . vorm. Ze worden 'production rules' genoemd.
Bijvoorbeeld:

ALS U niet ingeschreven bent als woningzoekende
EN U bent 65 of ouder
DAN kunnen wij U inschrijven als woningzoekenden en krijgt U geen inschrijvingsduurpunten

Het eerste deel van de regel, het ALS deel wordt antecedent of premisse genoemd en bestaat uit één of meerdere uitspraken verbonden door EN of OF. Het tweede deel, het DAN deel, wordt aangeduid als consequent of conclusie en bestaat uit één of meerdere uitspraken die een conclusie of een actie betreffen.
Het werkgeheugen of de gegevensbank omvat een stel feiten die de aangetroffen situatie beschrijven en bevat ook de conclusies die tijdens de consultatie door het systeem getrokken zijn. Met het aantal aangesproken regels neemt de kennis van deze tweede soort toe.
Het inferentiemechanisme bestaat uit twee onderdelen met een eigen taak. De inferentie component onderzoekt de bestaande regels op overeenkomsten met de in het werkgeheugen ingevoerde feiten en voegt eventuele conclusies aan het werkgeheugen toe. De controle component bepaalt de volgorde waarin geselecteerde regels aangesproken worden en of en wanneer tijdens de consultatie feiten veranderd kunnen worden. De zoekprocedure in de controlecomponent bepaalt de volgorde waarin de rulebase doorzocht wordt en de regels worden aangesproken. De keuze

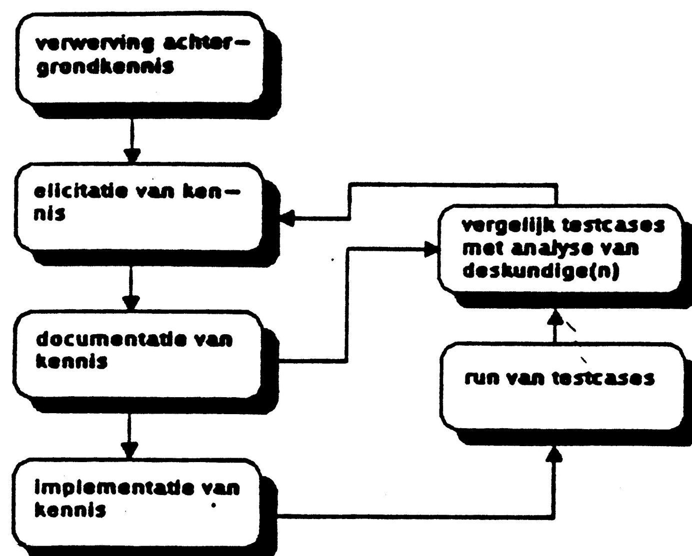
van de zoekprocedure is uiteraard van belang bij het ontwerp van de controle component.

De hulpmiddelen bij het ontwikkelen van een kennissysteem
Programmeertalen als Fortran of Pascal zijn sterk in numerieke operaties op basis van een algoritme, een vaste algemene procedure voor de oplossing van een probleem. Ze zijn minder geschikt voor het vormgeven van redeneerprocessen in een computerprogramma. Daarvoor zijn talen nodig die sterk zijn in symboolgerichte bewerkingen waarbij niet uitgegaan wordt van een algoritme maar van een reeks ervaringsregels. Dit heeft ertoe geleid dat speciaal voor toepassingen op het gebied van Artificiële Intelligentie programmeertalen ontwikkeld zijn die aan deze voorwaarden voldoen. De belangrijkste zijn LISP en PROLOG. Vooral LISP maar ook PROLOG is in de 70-er jaren gebruikt voor de ontwikkeling van systemen voor verschillende toepassingsgebieden. Het programmeren van een kennissysteem op deze manier kost echter veel tijd. Inmiddels zijn uitgaande van grote kennissystemen zgn. 'shells' ontwikkeld. Een systeem zonder domeinkennis. De knowledgebase is niet gevuld, maar alle faciliteiten om dat te doen, het inferentiemechanisme en de gebruikersinterface zijn beschikbaar. Eén van de eerste shells was EMYCIN, ontleend aan MYCIN, het medisch diagnosesysteem. Door de domeingebonden aard van de eerste shells waren ze in hun gebruik beperkt tot problemen van een vergelijkbare struktuur. Met name het gekozen inferentiemechanisme werkte vaak beperkend. Gaandeweg zijn de shells verbeterd en steeds meer geschikt voor het ontwerpen van kennissystemen met een zeer verschillende structuur. In vele gevallen is het gebruik van een shell voor de ontwikkeling van een kennissysteem te verkiezen boven het van de grond af zelf in LISP of PROLOG programmeren van een volledig systeem. Bij de ontwikkeling van het woning-informatiesysteem voor Delft is gebruik gemaakt van de shell Personal Consultant Plus (versie 3.2), door Texas Instruments ontwikkeld uitgaande van EMYCIN.

4. HET WONINGINFORMATIESYSTEEM VOOR DELFT

Ontwerp
Het woninginformatiesysteem is geconstrueerd vanuit de methode van Structured Knowledge Engineering (SKE) ofwel gestructureerde kennisverwerving. Het is daarbij gebruikelijk bij het ontwerpen en implementeren van een kennissysteem meerdere stappen cyclisch te doorlopen. Deze stappen zijn in figuur 4.1 op schematische wijze weergegeven.

Figuur 4.1 Basisstappen van het ontwerpen en implementeren van kennissytemen



Na het vergaren van de achtergrondkennis komen drie stappen aan de orde, die sterk met elkaar samenhangen; de elicitatie stap, de documentatie stap en de stap waarin de gedocumenteerde kennis aan deskundigen wordt voorgelegd. Omdat het kennisdocument voor vele doeleinden gebruikt kan worden is eenduidigheid van een niet te onderschatten belang. Bij de kennisdocumentatie is gebruik gemaakt van beslissingstabellen [Montalbano, 1973, Verhelst, 1980, Reilly et al, 1987]. Deze tabellen hebben in de in figuur 4.1 onderscheiden fasen een centrale rol als informatie-analytisch gereedschap. Beslissingstabellen geven door hun structuur inzicht in het waarom van een regel en maken duidelijk hoe regels gegroepeerd kunnen worden. Een eenmaal geconstrueerde tabel is gemakkelijk te analyseren, ook voor mensen die niet in het specifieke kennisgebied ingewijd zijn. Het ontwerpen van de beslissingstabellen is echter aanzienlijk moeilijker. De kernstructuur van een beslissingstabel bestaat uit conditieset, akties, conditie-mogelijkheden en mogelijke akties.

Tabel 4.2 Kernstructuur van een beslissingstabel

Titel	
Conditie's	Conditie mogelijkheden
Aktie's	Mogelijke aktie's
Regelnummers	

Een tabel kan in deeltabellen opgesplitst worden. Op deze manier wordt voorkomen dat de tabellen te groot en te complex worden. In figuur 4.3 wordt één van de deeltabellen uit het Delftse systeem weergegeven. Deze tabel heeft als titel SOort WOningzoekende Punten Doorstromers Deeltabel en bepaalt het aantal punten dat men als woningzoekende ontvangt als men bij eventuele verhuizing een Van Dam eenheid achterlaat. Regel 4 wordt als volgt gelezen:

> ALS het huidig-woning-type (conditie) van het type Van-Dam-Eenheid (conditie-mogelijkheid) is
> EN het type-Van-Dam-Eenheid (conditie) een 2-persoons eenheid (conditie-mogelijkheid) is EN het aantal-personen (conditie) dat er woont meer dan 1 (conditie-mogelijkheid) is
> EN er sprake is (conditie-mogelijkheid) van aantoonbare-gezinsuitbreiding (conditie)
> DAN ontvangt men 60 doorstromers-punten (mogelijke aktie).

De andere conditie-alternatieven van huidig-woning-type zijn in andere tabellen verwerkt.
Na de documentatie is de volgende stap het implementeren van de gedocumenteerde kennis.

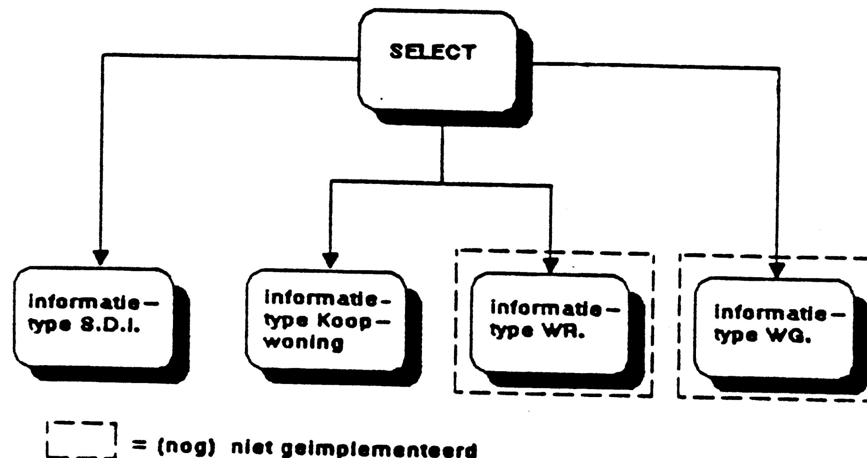
Tabel 4.3 Beslissings tabel voor SOoort WOningzoekende Punten Doorstromers Deeltabel.

SOWOP-D.D.								
huidig-woning-type	Van-Dam-Eenheid							
type-van-Dam-eenheid	1-persoons		2-persoons			3-persoons		
aantal-personen	-		1	>1		1-2	>=3	
aantoonbare-gezinsuitbreiding	J	N	-	J	N	-	J	N
doorstromer-punten	60	24	0	60	24	0	60	24

<u>Algemene struktuur</u>
Het informatiesysteem heeft de volgende functies:
- nagaan of een woningzoekende voor inschrijving in aanmerking kan komen,
- berekenen van het puntentotaal van ingeschreven woningzoekenden of van woningzoekenden die voor inschrijving in aanmerking komen,
- berekenen hoeveel punten een woningzoekende nodig heeft voor een bepaald woning-type,
- vaststellen of een woningzoekende voor een woning-type, waarvoor hij of zij wel voldoende punten heeft opgebouwd, een woonvergunning kan krijgen. Dit betekent, dat woningzoekenden moeten voldoen aan de eisen van de bezettingsnorm en indien het een huurwoning betreft, zal men ook aan de huurquote-norm moeten voldoen.

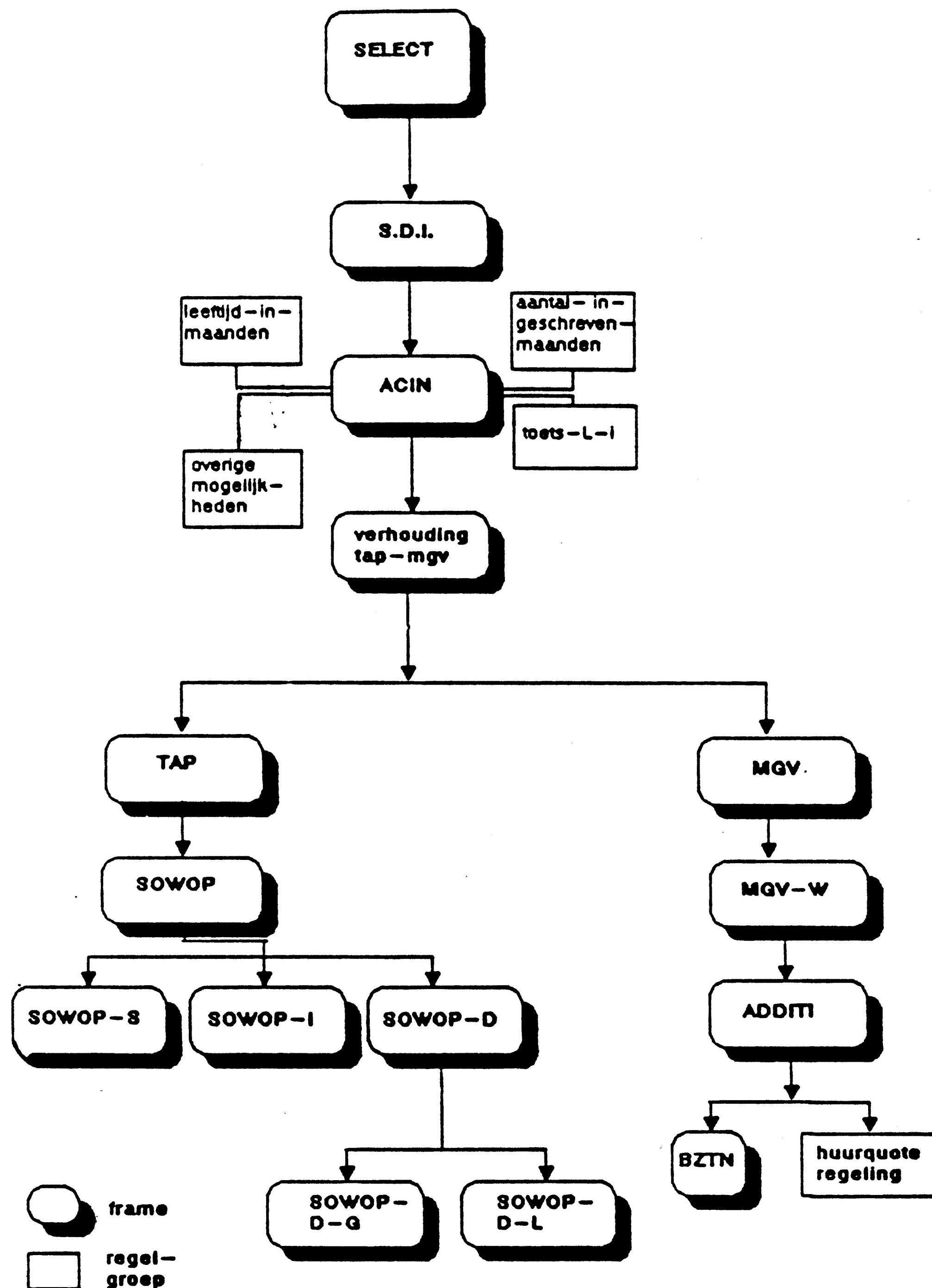
Het woning-informatiesysteem is opgesplitst in 2 deelgebieden. In figuur 4.4 zijn te herkennen een deel voor starters, doorstromers en immigranten die een huurwoning wensen (S.D.I) en een deel voor woningzoekenden die naar een koopwoning willen verhuizen.

Figuur 4.4 Structuurschema van het woning-informatiesysteem.



De opsplitsing van het puntentoedelingssysteem in de twee deelgebieden is gebaseerd op de logica van het puntensysteem. Het onderdeel 'select' heeft als doel om vast te stellen naar welk deelgebied er gesprongen moet worden. Dit is van belang om te bepalen voor welk soort punten hij of zij in aanmerking kan komen. Heeft het systeem vastgesteld, dat het te maken heeft met een starter, doorstromer of immigrant die een huurwoning wenst (het merendeel van de woningzoekenden), dan wordt gesprongen naar het deelgebied S.D.I.. De structuur onder S.D.I. is in figuur 4.5 schematisch weergegeven. Nadat bepaald is of de woningzoekende ingeschreven kan worden (acceptatie en inschrijving, ACIN) wordt bepaald hoe zijn huidige woonsituatie is (alles onder TAP, totaal aantal punten). Vervolgens wordt bepaald hoeveel punten minimaal nodig zijn om de gewenste woonsituatie te verkrijgen (alles onder MGV, minimaal-gevraagde-punten). Op basis van de verhouding tussen het opgebouwde puntentotaal en de minimaal vereiste punten voor de gewenste combinatie van woningtype, aantal kamers en wijk volgt een uitspraak over de wachttijd.

Figuur 4.5 Gespecificeerd structuurschema



<u>Het gebruik</u>
Het woning-informatiesysteem communiceert met de gebruiker via vragen en antwoorden in natuurlijke taal. Het systeem kan uitleggen waarom bepaalde informatie nodig is of hoe bepaalde conclusies getrokken worden. Afhankelijk van de individuele kenmerken en opgegeven woonwensen wordt er tijdens de consultatie een overzicht gemaakt met gegevens over woningen waarvoor men op grond van het individueel opgebouwd

aantal punten in aanmerking kan komen. Het overzicht bevat informatie per wijk over het type woningen, aantal kamers, huur per maand en het vereiste aantal punten. Alle opgegeven kenmerken kunnen eenvoudig gewijzigd worden door de gebruiker, zodat er door aanpassing van de wensen inzicht wordt verkregen in de alternatieven die zich nu of op termijn aandienen.
Het systeem werkt op een IBM-compatible personal computer, met bij voorkeur 1 Mb expanded memory en een hard disk. De zogenaamde run-time versie van het systeem past op een AT-floppy.

5. KONLUSIE EN ERVARINGEN

Het beleid van de gemeente Delft inzake de woonruimteverdeling is erop gericht om de beschikbare, schaarse woonruimte zo goed mogelijk over de woningzoekenden te verdelen. Om dit beleid praktisch uit te voeren hanteert men een puntensysteem. Dit zou in opzet duidelijk, eenvoudig, controleerbaar en voor de burger begrijpelijk moeten zijn. Geleidelijk aan is terwille van een zo rechtvaardig mogelijke verdeling echter een uitgebalanceerd maar ook nogal complex systeem van regels onstaan. Zowel aan de vraag- als de aanbodkant moet met nogal wat aspekten (persoonlijke omstandigheden, huidige woonsituatie, tekorten aan bepaalde typen woningen), die bovendien aan verandering onderhevig zijn rekening gehouden worden. Hierdoor is het puntensysteem voor de toch al onder druk werkende voorlichtings-ambtenaar steeds moeilijker consistent toe te passen en het bijna onmogelijk geworden voor de burger het wat en waarom van alle vragen en regelingen begrijpelijk te maken. Informatietechnologie kan dan een oplossing bieden.
Aangezien ALS, . . . , DAN . . . redeneringen de kern van het punten-systeem vormen, uitleg van de redenering achter een konklusie en gebruiksvriendelijkheid belangrijk zijn, ligt het gebruik van kennis-systeem-technieken enigszins voor de hand. De informatiemedewerker kan het systeem in de dagelijkse praktijk benutten om consistent, con-troleerbaar en snel de woningzoekende behulpzaam te zijn. Een belang-rijk voordeel van het systeem is dat een woningzoekende inzicht krijgt in de woningen waarvoor deze op een redelijke termijn in aanmerking zou kunnen komen afhankelijk van de individuele kenmerken. De woning-zoekende kan daardoor een afweging maken tussen langer wachten of een minder aantrekkelijke woning aanvaarden. Daarnaast zou een dergelijk systeem benut kunnen worden om veranderingen in de puntentoedeling, die worden overwogen, op hun effekt te analyseren.
Voor de woningzoekende is er het grote voordeel dat deze zich niet hoeft te verdiepen in het volledige puntensysteem om een indruk van de eigen kansen op een woning te krijgen.
Het in dit artikel beschreven woonruimte-informatiesysteem verkeert thans in een evaluatie-fase bij de afdeling woonruimtezaken van de gemeente Delft. Het systeem voldoet aan de geformuleerde uitgangspun-ten en maakt duidelijk dat kennissysteemtechnieken goede mogelijkheden bieden om informatiemedewerkers te ondersteunen bij de uitvoering van complexe regelgeving en de voorlichting aan de burger. Mogelijk dat het systeem in Delft uiteindelijk niet door de medewerkers van woonruimtezaken zelf aan de balie gebruikt zal worden maar ingezet wordt om de woningzoekende bij een eerste kontakt direkt inzicht te geven in zijn of haar perspectieven op de Delftse woningmarkt. De informatiemedewerkers zullen daardoor meer tijd kunnen besteden aan de

mensen die de informatie-fase al gepasseerd zijn. Overwogen wordt het systeem op meerdere punten waar 'gemeentelijke' informatie wordt verstrekt te plaatsen.

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat ook in andere gevallen waar de gemeente te maken heeft met komplexe stelsels van regels of procedures kennissystemen benut kunnen worden, bij zowel het hanteren van de geldende richtlijnen als bij de informatieverstrekking aan het publiek. Zo zouden bijvoorbeeld de bouwverordening en bestemmingsplanvoorschriften in een kennissysteem ondergebracht kunnen worden. De betreffende ambtenaar kan hiervan gebruik maken om met een aanvrager een voorgenomen bouwplan door te nemen en eventueel alternatieven aan te dragen. Dit kan bijdragen aan een klantvriendelijke benadering.
De vergunningverlening in het kader van de hinderwet is een ander voorbeeld waar de toepassing van kennissysteemtechnieken grote mogelijkheden biedt. Voor allerlei subsidieregelingen geldt hetzelfde.
Naast het automatiseren van complex geworden stelsels van regels of procedures kunnen kennissysteemtechnieken benut worden om de kennis van een expert in een computer onder te brengen en voor anderen toegankelijk te maken. Op het gebied van de volkshuisvesting kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een kennissysteem voor de planning van het beheer en onderhoud van woningkomplexen. Een expert past voor de te maken afwegingen naast logische ook zuivere ervaringsregels toe. Deze zouden de kern van het systeem moeten vormen.
Een heel andere toepassingsmogelijkheid betreft een systeem dat een gemeente, woningvereniging of belegger kan ondersteunen bij de investering in nieuwe of bestaande woningen, rekening houdend met de te verwachten vraag naar deze woningen. Voor de inschatting van de effektieve vraag wordt gebruik gemaakt van de met behulp van kennissysteemtechnieken weergegeven beslisprocessen van verschillende huishoudenstypen omtrent de woningkeuze.

Waar kennissystemen in de computer- en procesindustrie, bij banken en verzekeringen, in de medische wereld en geleidelijk ook in de juridische informatica op een aanzienlijke schaal toegepast worden, zijn ze in ruimtelijke ordening en volkshuisvesting nog goeddeels onbekend. Dat ook daar kennissystemen een vooruitgang kunnen betekenen illustreert het kennissysteem voor woninginformatie voor Delft dat hier gepresenteerd is. Met name kleinere kennissystemen, ontwikkeld en te gebruiken op PC blijken bij een geringe investering (enkele maanden tot een half jaar werk) een goed produkt op te leveren. Ervaringen in Engeland en de VS waar men op dit gebied voorop loopt onderstrepen dit.

REFERENTIES

LUCARDIE, L. (1988), Beslissingstabellen en Kennissystemen. Delft, INRO-TNO.

MONTALBANO, M (1973), Decision Tables. Chicago, Scientific Researchy Associates Inc.

OP 'T VELD, D., E. BIJLSMA en J. STARMANS (1986), Individuele Gedrags-

modellen, 'n Verkenning van kennissystemen en decision plan nets.
Delft, INRO - TNO.

REILLY, K.D., SALAH, A. & YANG, C. (1984), A Logic Programming Perspective on Decision Table Theory and Practice, Data & Knowledge Engineering 2, pp. 191-221.

KWAKERNAAK C. et al. (1988) Een beleidsondersteunend kennissysteem voor de mestproblematiek.
Planning 31, pp, 10-22.

VERHELST, M. (1980) De Praktijk van Beslissingstabellen.
Deventer, Kluwer.

MILIAM: EEN KENNISSYSTEEM VOOR
DE TOEPASSING VAN ECOLOGISCHE KENNIS IN HET MESTBELEID

C. Kwakernaak*, J.G.M. Starmans**, E.F. Bijlsma**

Hoofdgroep Beleidstudies en Informatie (B&I)
*Studiecentrum voor Milieuonderzoek (SCMO)
**Instituut voor Ruimtelijke Organisatie (INRO)

SAMENVATTING

MILIAM is een prototype kennissysteem dat kan worden gebruikt bij de ecologische beoordeling van Hinderwetaanvragen voor veehouderijbedrijven. Het prototype biedt de gebruiker de mogelijkheid om de afwegingsprocedure volgens de Hinderwet-richtlijn in geautomatiseerde vorm te doorlopen. Daarnaast bevat MILIAM aanvullende ecologische kennis, die niet wordt gebruikt in de Hinderwet-beoordeling. Hierdoor krijgt de gebruiker een meer volledig beeld van de te verwachten ecologische schade door effectuering van de aanvrager.

1. INLEIDING

MILIAM staat voor milieu en ammoniak. Het hier gepresenteerde kennissysteem richt zich op de problematiek van de verzuring van het milieu door uitstoot van ammoniak uit de veehouderij. Beleidsmaatregelen, die gericht zijn op het terugdringen van de verzuring, zijn in hoge mate afhankelijk van de aard van de verontreiniging en daarmee van de aard van de emissiebron. Voor een inperking van de milieuschade door ammoniak (NH_3) is gekozen voor een twee-sporen beleid, waarbij de effectgerichte aanpak (met een depositiedoelstelling) vertaald dient te worden in brongericht (ook wel doelgericht) beleid. Het gaat hier om maatregelen die gericht zijn op de intensieve veehouderij.
Deze aanpak is mogelijk gezien het emissiepatroon en het verspreidingsgedrag van ammoniak (NH_3). De ammoniakproductie is sterk geconcentreerd in een viertal regio's in Nederland, waar sprake is van een bundeling van de intensieve veehouderij. Ook het verspreidingspatroon van ammoniak is geconcentreerd, dat wil zeggen de afstand tussen ammoniak-emissie en zuurdepositie is kort. Hierdoor zal voor de aanpak van deze vorm van verzuring een gebiedsgericht beleid effect kunnen sorteren.
Op gemeentelijk niveau fungeert de Hinderwet als instrument om dit gebiedsgerichte beleid gestalte te geven.

2. HINDERWET EN VEEHOUDERIJBELEID

2.1. De ecologische richtlijn

Veehouderijbedrijven behoren tot de inrichtingen die thans vallen onder de Hinderwet.
De beoordeling van Hinderwetaanvragen voor vestiging of uitbreiding van veehouderijbedrijven geschiedt op basis van twee gronden:
- stankhinder voor omwonenden;
- ecologische consequenties.

In 1987 werd een richtlijn uitgebracht, waarin een uitwerking werd opgenomen van de ecologische beoordelingscriteria.

Alhoewel deze ecologische Hinderwet-richtlijn een belangrijke stap is op weg naar een milieukundig en ecologisch verantwoord overheidsbeleid ten aanzien van de veehouderij in Nederland, dienen toch ook de beperkingen ervan te worden geëtaleerd.

2.2. Beperkingen in de richtlijn

Voor de beoordeling van de aantasting van ecologische waarden is in de ecologische Hinderwet-richtlijn gekozen voor een beperkt aantal, relatief eenvoudig te hanteren, beoordelingsaspecten. De richtlijn richt zich namelijk uitsluitend op de emissies van ammoniak uit de stal en mestopslagplaats, en op het potentiële verzurende effect ervan op nabijgelegen natuurgebieden. Hieronder worden enkele eveneens relevante aspecten genoemd, waaraan in de ecologische richtlijn geen aandacht wordt geschonken.

a. Ammoniakemissie vanaf het land
Geen rekening wordt gehouden met de hoeveelheid ammoniak die vrijkomt vanaf het land, zowel door mestproduktie op het land als door het uitrijden van vloeibare mest. Aangenomen wordt dat de emissie van ammoniak uit de stal en mestopslag iets meer dan de helft uitmaakt van de totale ammoniakuitstoot in de lucht door intensieve veehouderijbedrijven. Wanneer evenwel naar veehouderijbedrijven in het algemeen gekeken wordt, dan betekent deze beperking in de reikwijdte van de Hinderwetrichtlijn, dat slechts rekening wordt gehouden met ongeveer 35% van de totale luchtverontreiniging door ammoniak uit deze bedrijven.

b. Extra depositie van zwaveldioxide
De richtlijn houdt geen rekening met de synergistische effecten die optreden tussen ammoniak en andere stoffen, met name zwaveldioxide, in de atmosfeer. Uit onderzoek is gebleken dat ammoniak voornamelijk neerslaat als ammoniumsulfaat $(NH_4)_2SO_4$.

De omvang van de depositie van ammoniumsulfaat is voornamelijk afhankelijk van de concentratie ammonium in de lucht. Met het neerslaan van het ammonium vindt tegelijk dus depositie van zwaveloxiden (SO_x) plaats. Naast de achtergronddepositie SO_x vindt hierdoor een extra depositie van SO_x plaats, die evenredig is aan de bijdrage van ammonium aan de zuurdepositie in de gebieden met veel

intensieve veehouderij. Deze bijdrage kan oplopen tot ± 50% van de totale zuurdepositie in sterk belaste gebieden.

c. Daadwerkelijke verzuring en bodemverarming
De richtlijn baseert de emissienormen op de berekende depositiewaarden van ammonium, uitgedrukt in hoeveelheden potentieel zuur. Hierbij blijft in het midden of hierdoor ook de zuurgraad van de bodem daadwerkelijk wordt verhoogd, of dat er sprake zal zijn van een ander, eveneens schadelijk effect van zure regen. Dit betreft de verdringing van voedingsionen door ammoniumionen in het bodemadsorptiecomplex. Deze bodemverarming zal optreden indien er in de bodem een onvolledige nitrificatie van ammonium plaatsvindt, hetgeen vooral het geval is in zure en voedselarme zandgronden. In bodems waar de nitrificatie volledig is, speelt alleen de verhoging van de zuurgraad door de vorming van waterstofionen een rol, waardoor voedingsstoffen zullen uitspoelen.

d. Eutrofiëring
Tenslotte is in deze richtlijn geen rekening gehouden met het effect van ammoniakdepositie op de voedingstoestand van de bodem. Het betreft hier de problematiek van eutrofiëring ("vermesting") van voedselarme bodems, oppervlaktewater en grondwater. Over de combinatie-effecten van verzuring en eutrofiëring op het natuurlijk milieu ontbreekt nog veel kennis.

3. HET NUT VAN EEN KENNISSYSTEEM

Men kan zich voorstellen dat menig ontwerper en uitvoerder van beleid problemen zal hebben met een juist en efficiënt gebruik van de bestaande kennis over dit aspect van milieuverontreiniging. Zelfs wanneer de beschikbare kennis wordt vertaald in een speciaal voor beleidstoepassing opgestelde rekenmethodiek, dan dienen zich nog problemen aan bij de toepassing in de praktijk [Hannessen, 1987].
Dit betekent dat ofwel de rekenmethode zelf vereenvoudigd moet worden, hetgeen impliciet een kwaliteitsverlies zal betekenen, ofwel de toepassing van de rekenmethodiek moet eenvoudiger, meer gebruikersvriendelijk, worden gemaakt.
Deze laatste mogelijkheid is uitgewerkt in de vorm van een geautomatiseerd besluitvormings-ondersteunend kennissysteem MILIAM.

Het onderwerp van MILIAM voldeed aan de toepassingscriteria voor kennissystemen in beleidsvraagstukken, zoals die waren geformuleerd in een voorstudie van dit project [Bodrij en Kwakernaak, 1987]:
- beschikbaarheid en betrouwbaarheid van gegevens en kennis;
- een overzichtelijk en afgebakend toepassingsveld;
- een complex vraagstuk met meerdere, maar goed gedefinieerde, deelaspecten;
- een door redeneren te bereiken probleemoplossing;
- een min of meer routinematige beslissingsprocedure;
- een gedecentraliseerde uitvoering van centraal geformuleerd beleid (gebiedsgerichte benadering).

Bij de ontwikkeling van MILIAM stonden de volgende doelstellingen voor ogen.
a. beleidsondersteuning:

ondersteuning bij de toepassing van de vrij ingewikkelde reken- en beoordelingsmethodiek die in de ecologische Hinderwet-richtlijn voor veehouderijbedrijven is opgenomen;

b. uitbreiding van de reikwijdte van de ecologische beoordeling: het aandragen van beschikbare kennis over andere aspecten met betrekking tot ecologische schade ten gevolge van ammoniakemmissie, zodat desgewenst ook deze kennis bij de beoordeling kan worden betrokken; in het prototype MILIAM heeft deze uitbreiding geen betrekking op het aspekt van eutrofiëring (vermesting), doch uitsluitend op de schade door bodemverzuring en verarming van de bodem ten gevolge van ammoniumdepositie;

c. opbouwen van expertise met het ontwikkelen van kennissystemen bij de uitvoerende TNO-instituten.

In figuur 1 is schematisch aangegeven welke aspecten van de zure-regen problematiek kunnen worden onderscheiden, welke daarvan thans betrokken worden in de beoordelingsprocedure van MILIAM, en welke aspecten nog buiten het kennisdomein van MILIAM vallen.

Een drietal eigenschappen van kennissystemen is van grote waarde juist in het toepassingsveld van MILIAM. Dit zijn:

* De consistentie in de beoordeling en de afweging.
* De controleerbaarheid, hetgeen van groot belang is voor zowel de beoordelende instantie als voor de aanvrager. Voor de controle van de afwegingsprocedure is er een uitlegfaciliteit beschikbaar voor de gebruiker.
* De flexibiliteit, welke van pas kan komen wanneer nieuwe kennis en/of gegevens worden verkregen, die door vervanging of toevoeging van nieuwe onderdelen of zelfs gehele probleemsegmenten in de afwegingsprocedure worden ingepast. Bovendien heeft het systeem de flexibiliteit om alternatieven te beoordelen. Zo kan bijvoorbeeld met behulp van MILIAM worden bepaald hoe de beoordeling zou uitvallen, indien gekozen zou worden voor een andere lokatie van de inrichting of een andere omvang of samenstelling van de veestapel.

4. SYSTEEMEIGENSCHAPPEN

Het prototype MILIAM is ontwikkeld op basis van de shell Personal Consultant Plus. Voor meer informatie over de structuureigenschappen van deze shell kan worden verwezen naar de manual van deze shell. Personal Consultant Plus heeft zowel voor het ontwikkelen als voor het consulteren enkele gunstige eigenschappen. De shell

- kan een redelijk groot aantal regels bevatten;
- bevat mogelijkheden om een extern programma te laden en te starten voor het verkrijgen van gegevens uit andere databestanden;

gevolgen

werkelijke bodem-
verzuring en
bodemverarming

eutrofiëring

zure depositie

oorzaken

extra depositie
zwaveldioxide als
ammoniumsulfaat

zwaveldioxide

ammoniak

stikstofoxide

stalemissie

mestopslagplaats

landemissie

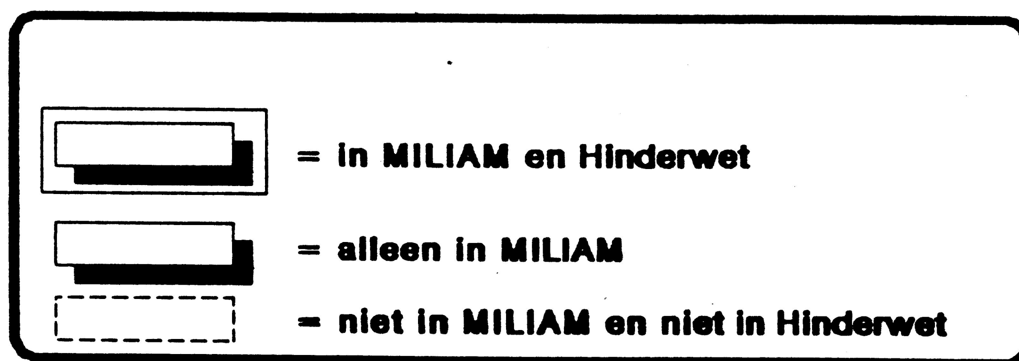


Fig. 1. Aspecten van de zure-regen problematiek en de behandeling ervan in MILIAM en de Hinderwet.

- heeft een goede user interface voor zowel ontwikkel- als consultatiedoeleinden;
- bevat een uitlegfaciliteit;
- draait op een IBM-compatible PC;
- kan buiten de ontwikkelomgeving worden gebruikt m.b.v. een floppy disk.

Hierna zal worden ingegaan op de inhoud van de kennisbank (knowledge base) en vervolgens, aan de hand van een voorbeeld, op de stapsgewijze redeneerstructuur in MILIAM.

De kennisbank

In de kennisbank van MILIAM is allereerst die kennis opgenomen die nodig is voor de beoordeling van de vergunning-aanvrage op ecologische kriteria. Daarnaast is achtergrondinformatie en wetenschappelijke kennis opgenomen om de aanvrage ook te kunnen beoordelen op andere ecologische overwegingen en kriteria dan die welke in de ecologische richtlijn zijn vervat.

De kennisbank is opgebouwd uit een vijftal probleemsegmenten, die bij consultatie alle leiden tot een bepaalde conclusie, in de vorm van een berekende waarde, een beoordeling of een advies. Figuur 2 geeft de door MILIAM bestreken probleemsegmenten weer, waarvan de drie in de onderste rij vermelde segmenten facultatief te consulteren zijn. In het segment Hinderwetplichtigheid wordt beoordeeld of voor de voorgenomen inrichting een Hinderwetvergunning dient te worden aangevraagd. Het segment Vergunningverlening behandelt de beoordeling van de aanvrage volgens de ecologische Hinderwetrichtlijn. Bij het segment Landemissie wordt nagegaan welke bijdrage de mestproductie en -verspreiding op het land zou leveren aan de zure neerslag, waarna in het segment Zwaveldioxide de extra zuurdepositie uit ammoniumsulfaat wordt berekend. In het laatste segment wordt de aanvrage beoordeeld op de verwachte consequenties van de ammoniakemissie voor de bodemkwaliteit (het effect op de zuurgraad en de hoeveelheid beschikbare voedingsstoffen).
Voor de vulling van de kennisbank is gebruik gemaakt van bestaande literatuur: de Hinderwetrichtlijn zelf, de voornaamste informatiebron voor deze richtlijn (het rapport van Van der Voet en Udo de Haes, 1985) en enkele andere belangrijke studies over emissie, verspreiding, depositie en effecten van ammoniak.
De in MILIAM aanwezige kennis m.b.t. de probleemsegmenten van figuur 2, wordt door produktieregels met een specifieke vorm gerepresenteerd. Iedere regel in Personal Consultant Plus is minimaal in het bezit van twee eigenschappen, nl. een IF- en een THEN-eigenschap. Deze twee fundamentele eigenschappen kunnen elk bestaan uit één of meerdere namen van parameters en één of meerdere functies (deze kunnen geclassificeerd worden als systeemfuncties of als door de gebruiker gedefinieerde functies). De parameters en functies worden door de logische operatoren AND en OR met elkaar verbonden.

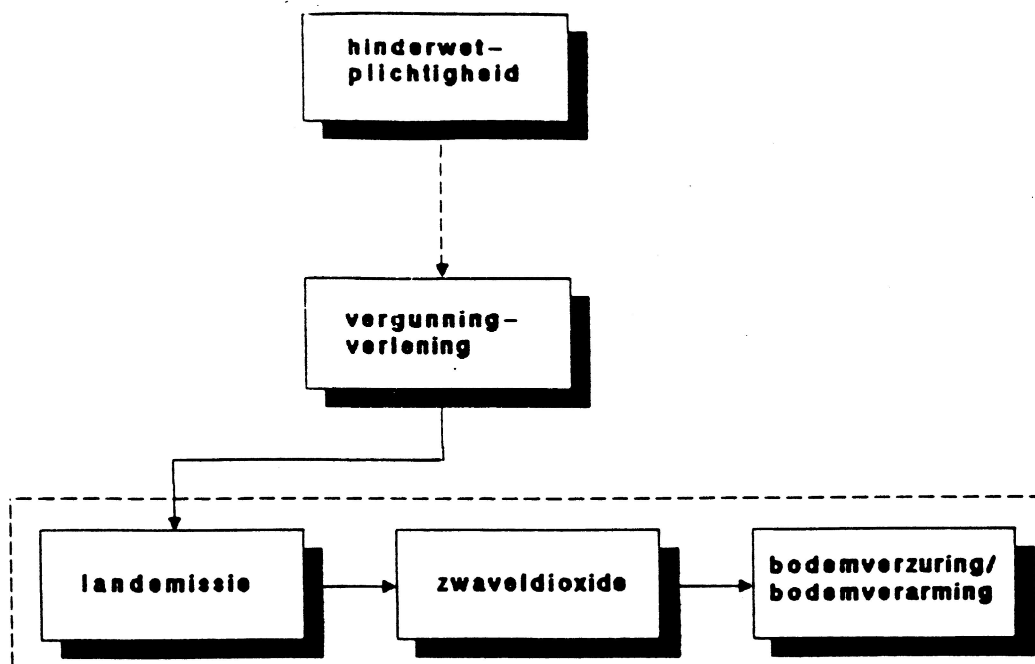


Fig. 2. Probleemsegmenten van MILIAM. In het bovenste segment wordt nagegaan of een veehouderijbedrijf hinderwetplichtig is. Indien dit het geval is, wordt het tweede probleemsegment aangesproken. Na consultatie van dit segment wordt altijd naar de drie facultatieve segmenten (in het gestippelde kader!) gesprongen. De gebruiker kan instantiëring van elk van de drie segmenten weigeren.

Ter illustratie volgt hieronder één van de regels uit MILIAM:

IF: type-vee = rundvee and type-rundvee = "vrouwelijk jongvee tot ca. 2 jaar" and (value aantal-type-rundvee) > 0
THEN: bijdrage-type-rundvee = 3.9* (value aantal-type-rundvee)

Het IF-gedeelte bevat drie namen en drie waarden van parameters: de parameter type-vee met de waarde rundvee, de parameter type-rundvee met de waarde "vrouwelijk jongvee tot ca. 2 jaar" en ten slotte de parameter aantal-type-rundvee waarvan de waarde groter dan 0 moet zijn. In conjunctie leiden deze parameters tot een waarde-toekenning van de vierde parameter bijdrage-type-rundvee die in de conclusie voorkomt. De waarde is gelijk aan de waarde van aantal-type-rundvee vermenigvuldigd met de emissiefactor 3.9 voor de stalemissie van vrouwelijk jongvee.

Behalve de nu besproken eigenschappen IF en THEN kan een regel in Personal Consultant Plus in het bezit zijn van een aantal andere (optionele) kenmerken, zoals onder meer ANTECEDENT en EXPLANATION. Met de eigenschap ANTECEDENT maakt men een keuze tussen het forward chaining of het backward chaining-inferentiemechanisme (zie Op 't Veld e.a., 1987). Geeft men een regel een ANTECEDENT-eigenschap mee, dan

wordt deze regel geprobeerd volgens het principe van forward chaining en in het andere geval volgens de backward chaining-methode.

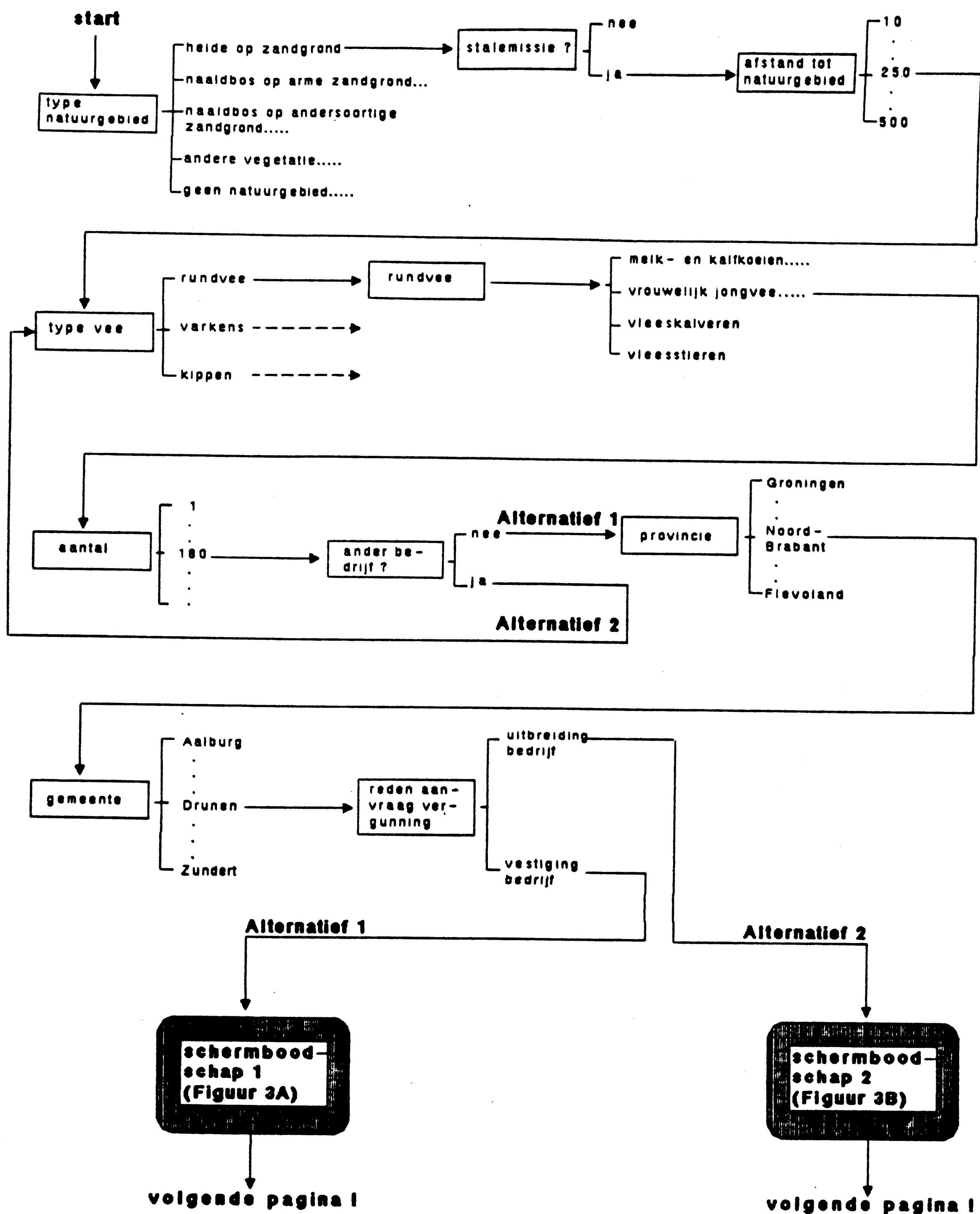
De waarde van EXPLANATION wordt door Personal Consultant Plus naar het scherm verstuurd in het geval de gebruiker de HOW- en WHY-faciliteiten van het systeem aanroept. Na het aanvragen van de HOW-faciliteit verschijnt er op het scherm een lijst van reeds gedetermineerde parameters, waaruit de gebruiker een keuze kan maken. Op grond van deze selectie levert het systeem informatie over de methode(n), waarmee één of meer waarden zijn vastgesteld. Het WHY-commando maakt het mogelijk om na te gaan waarom het systeem naar de waarde van een parameter vraagt.

Zoals type-vee dat hieronder laat zien, kunnen parameters eveneens middels diverse eigenschappen beschreven worden:

Type vee
TRANSLATION: (veetypen aanwezig op dat bedrijf)
PROMPT : (welke veetypen zijn er aanwezig op *?)
HELP : (de ecologische hinderwet-richtlijn is niet van toepassing op andere diersoorten)
EXPECT : (rundvee varkens kippen)
USED-BY : rule032 rule017 rule011...

Dit zijn niet alle kenmerken die parameters kunnen bezitten. De wel genoemde kenmerken komen in de volgende alinea beknopt aan de orde.

De waarde van TRANSLATION wordt door het systeem gebruikt als er regels naar het Engels of Nederlands vertaald moeten worden. De prompt-eigenschap specificeert de vraag aan de gebruiker naar de waarde van type-vee. De waarde van HELP verleent een gebruiker additionele informatie om hem/haar te helpen een waarde voor type-vee te bepalen. Deze HELP is te activeren door het indrukken van een functietoets. EXPECT definieert de te verwachten waarden voor de parameter in kwestie en USED-BY is een systeem-eigenschap die bijhoudt welke regels in hun IF-gedeelte iets zeggen over in dit geval de parameter type-vee. De overige kenmerken van Personal Consultant Plus blijven hier onbesproken. Op basis van deze en andere eigenschappen van regels en parameters ontstaat er een redeneerprocedure. Deze redeneerprocedure kan worden afgebeeld als een logische beslisboom.
In figuur 3 wordt een dergelijke beslisboom weergegeven die één bepaalde consultatie van MILIAM representeert. Deze figuur wordt hierna toegelicht.


start
type natuurgebied
heide op zandgrond
naaldbos op arme zandgrond...
naaldbos op andersoortige zandgrond.....
andere vegetatie.....
geen natuurgebied.....
stalemissie ?
nee
ja
afstand tot natuurgebied
10
250
500
type vee
rundvee
varkens
kippen
rundvee
melk- en kalfkoeien.....
vrouwelijk jongvee.....
vleeskalveren
vleesstieren
aantal
1
180
ander bedrijf ?
nee
ja
Alternatief 1
Alternatief 2
provincie
Groningen
Noord-Brabant
Flevoland
gemeente
Aalburg
Drunen
Zundert
reden aanvraag vergunning
uitbreiding bedrijf
vestiging bedrijf
Alternatief 1
Alternatief 2
schermboodschap 1 (Figuur 3A)
schermboodschap 2 (Figuur 3B)
volgende pagina !
volgende pagina !

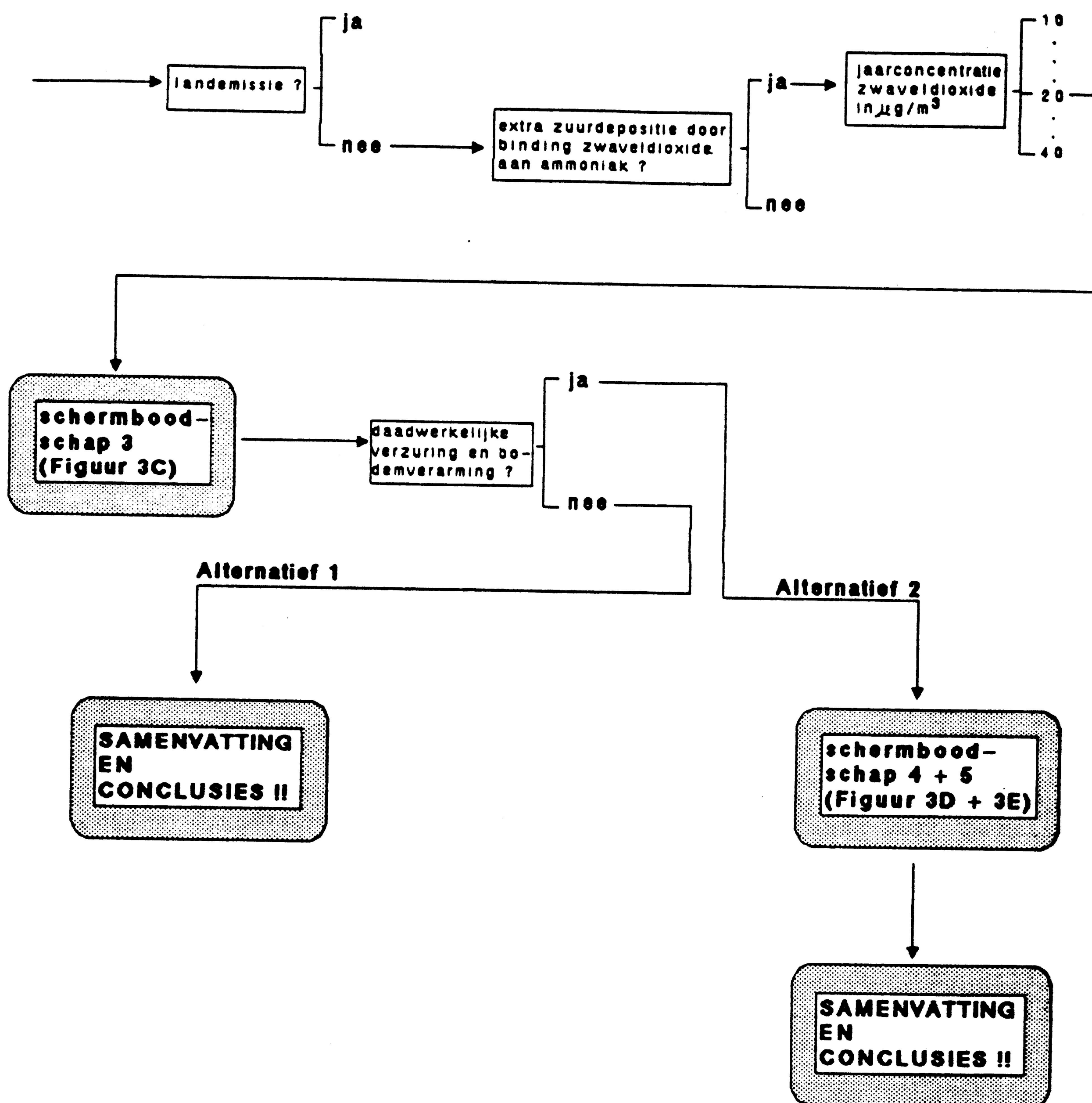


Fig. 3. Voorbeeld van een mogelijke consultatiesessie met het kennissysteem MILIAM gerepresenteerd door middel van een logische beslisboom.
De omkaderde eenheden zijn de parameters, de waarden van de parameters zijn niet omkaderd. Bij "?" wordt de gebruiker voor de keus gesteld, een probleemsegment wel/niet te consulteren.

MILIAM: Kennissysteem vergunningverlening veehouderijbedrijven

Vergunning wordt geweigerd

Deze conclusie is gebaseerd op de normwaarden voor zuurdepositie door ammoniakemissie uit de stal, die gebruikt worden als kriterium voor de vergunningverlening.

De huidige normwaarde voor depositie van zuur afkomstig uit NH3 is :
1300 mol H+/ha,jr bij nieuwvestiging en
2000 mol H+/ha,jr bij uitbreiding van een bestaand bedrijf.

De berekende depositie van potentieel zuur afkomstig uit NH3 in mol pot. H+/ha,jr op het natuurgebied is 1570 .

** End - RETURN/ENTER to continue

Fig. 3A. **Schermboodschap 1: Hinderwetbeoordeling bij vestiging.**

MILIAM: Kennissysteem vergunningverlening veehouderijbedrijven

Vergunning wordt verleend

Deze conclusie is gebaseerd op de normwaarden voor zuurdepositie door ammoniakemissie uit de stal, die gebruikt worden als kriterium voor de vergunningverlening.

De huidige normwaarde voor depositie van zuur afkomstig uit NH3 is :
1300 mol H+/ha,jr bij nieuwvestiging en
2000 mol H+/ha,jr bij uitbreiding van een bestaand bedrijf.

De berekende depositie van potentieel zuur afkomstig uit NH3 in mol pot. H+/ha,jr op het natuurgebied is 1570 .

** End - RETURN/ENTER to continue

Fig. 3B. **Schermboodschap 2: Hinderwetbeoordeling bij uitbreiding.**

MILIAM: Kennissysteem vergunningverlening veehouderijbedrijven

De extra depositie potentieel zuur uit SOx in mol pot. H+/ha,jr t.g.v. de huidige ammoniakemissie uit de veehouderij samen met de bijdrage door de vestiging of uitbreiding van het aanvragende bedrijf is -430

De berekende waarde van extra SOx is <= 0, dat betekent dat er geen extra zuurdepositie uit SOx door binding met NHx zal plaatsvinden.

** End - RETURN/ENTER to continue

Fig. 3C. **Schermboodschap 3: Bijdrage zuurdepositie door extra depositie van SO_2.**

MILIAM: Kennissysteem vergunningverlening veehouderijbedrijven

Schade aan het nabijgelegen natuurgebied t.g.v. de daadwerkelijke verzuring na de aangevraagde vestiging of bedrijfsuitbreiding is op ecologische gronden acceptabel

De berekende daadwerkelijke verzuring in mol H+/ha,jr is 0 .

De aangehouden grenswaarde is 1400 mol H+/ha,jr.

Het volgende overzicht (na return of enter) geeft de resultaten voor wat betreft de schade t.g.v. onvolledige nitrifikatie

** End - RETURN/ENTER to continue

Fig. 3D. Schermboodschap 4: Boodschap op grond van de berekende daadwerkelijke verzuring.

MILIAM: Kennissysteem vergunningverlening veehouderijbedrijven

Schade aan het nabijgelegen natuurgebied t.g.v. onvolledige nitrifikatie na vestiging of bedrijfsuitbreiding is op ecologische gronden acceptabel

De berekende daadwerkelijke schade in mol NH4/ha,jr t.g.v. onvolledige nitrifikatie is 1140 .

De voorlopige grenswaarde is 1600 Mol NH4+/ha,jr.

** End - RETURN/ENTER to continue

Fig. 3E. Schermboodschap 5: Beoordeling op grond van de berekende bodemverarming door onvolledige nitrifikatie.

5. EEN CONSULTATIEVOORBEELD

De in figuur 3 weergegeven beslisboom betreft een consultatie van MILIAM in verband met een vestiging c.q. een uitbreiding van een veehouderijbedrijf in de gemeente Drunen (Noord-Brabant).

Allereerst wordt de gebruiker gevraagd naar de aanwezigheid van een natuurgebied binnen 500 meter van de geplande bedrijfslokatie, waarna enkele relevante ecologische gegevens over het natuurgebied moeten worden opgegeven. In dit voorbeeld betreft het een heideveld op zandgrond.
Vervolgens wordt gevraagd of de te verwachten stalemissie ammoniak berekend moet worden. Het systeem stopt, indien hiervoor met "nee"

wordt geantwoord, omdat de Hinderwetbeoordeling gebaseerd is op de berekende stalemissie.
Bij een bevestigend antwoord moet daarna de afstand van het bedrijf tot de rand van het natuurgebied worden opgegeven.
De stalemissie wordt vervolgens berekend op grond van de aard en omvang van de veestapel, zoals opgegeven in de vergunningaanvrage. Deze berekende emissiewaarde wordt vervolgens gecombineerd met de reeds ingevoerde informatie over de afstand tot het natuurgebied en het vegetatietype daarvan, hetgeen resulteert in een berekende mogelijke depositie van de hoeveelheid zuur in het natuurgebied als gevolg van de ammoniakproductie in de stal en de mestopslag van het aanvragende bedrijf.
Voor de Hinderwetbeoordeling wordt ook gevraagd naar de eventuele aanwezigheid van andere veehouderijbedrijven in de omgeving. Bij alternatief 1 is er geen ander nabijgelegen bedrijf, en wordt vervolgens gevraagd naar de geografische ligging van het aanvragende bedrijf; bij alternatief 2 is er wel sprake van een ander bedrijf in de buurt van het natuurgebied, en stelt het systeem opnieuw vragen over de veestapel, maar dan van het reeds bestaande nabijgelegen bedrijf. Het aantal terugkoppelingen is gelijk aan het aantal nabijgelegen bedrijven. Door sommering van de berekende depositiewaarden tengevolge van respectievelijk de stalemissie van het aanvragende bedrijf, de stalemissie van eventueel aanwezige nabijgelegen bedrijven en de achtergrondconcentratie ammoniak in de lucht in de betreffende gemeente wordt de verwachte depositie potentieel zuur/ha, jr in het natuurgebied berekend. Deze waarde wordt vergeleken met de geldende normwaarde, die voor uitbreiding anders is dan vestiging. Op het beeldscherm verschijnt nu de conclusie van het probleemsegment Vergunningverlening (zie figuur 2). Deze schermboodschap is voor zowel het alternatief "uitbreiding" als het alternatief "vestiging" afgebeeld (figuur 3A en 3B). De consultatie kan nu gezien de strekking van de Hinderwet worden beëindigd, omdat de voor deze wet benodigde ecologische beoordelingscriteria zijn geraadpleegd.

Indien de gebruiker echter meer inzicht wenst in andere relevante ecologische effecten van een bedrijfsvestiging of -uitbreiding, kunnen één of meer facultatieve probleemsegmenten worden doorlopen. In het consultatievoorbeeld van figuur 3 is dit gedeelte op een nieuwe pagina afgebeeld. Allereerst wordt de vraag gesteld of de te verwachten zuurdepositie door emissie van ammoniak vanaf het land in de beoordeling betrokken zou moeten worden. Het gaat hier om de op het land geproduceerde en uitgereden mest. Deze waarde kan worden berekend uit de ligging van het land van het aanvragende bedrijf ten opzichte van het natuurgebied.

In de afgebeelde consultatie wordt de emissie van ammoniak vanaf het land buiten beschouwing gelaten, waarna de volgende probleemsegmenten worden doorlopen.
Voor de berekening van de extra hoeveelheid potentieel zuur ten gevolge van extra depositie van zwaveldioxide als ammoniumsulfaat wordt de gebruiker een opgave gevraagd van de gemiddelde jaarconcentratie zwaveldioxide in de atmosfeer van de betreffende lokatie. Dit gegeven kan worden ontleend aan gepubliceerde meetgegevens.

Aan het einde van de consultatie worden de conclusies van alle probleemsegmenten op het beeldscherm samengevat.

6. CONCLUSIES

Het prototype kennissysteem MILIAM is inmiddels door een aantal potentiële gebruikers getest. Op grond van de daarbij verkregen ervaringen lijken er goede perspectieven voor uitwerking van het prototype tot een aantal verschillende eindversies. Gedacht wordt daarbij aan inzet als ondersteunend instrument bij de procedure van vergunningverlening door gemeenten, maar ook aan toepassing in de voorbereidingsprocedure van landinrichtingsprojecten. Ook zou het systeem zo aangepast kunnen worden, dat een beoordeling van het ecologisch rendement van emissiebeperkende maatregelen en bedrijfsbeëindiging of -verplaatsing mogelijk wordt.

De ervaringen met de ontwikkeling van het prototype leerden dat het mogelijk is om een beleidsondersteunend kennissysteem op efficiënte wijze te ontwikkelen op basis van een shell, in dit geval Personal Consultant Plus. Voorwaarde is wel dat de kennis met betrekking tot het probleemveld goed geordend wordt aangeleverd, zodat deze efficiënt in regels met een IF ... THEN structuur kan worden vertaald.

REFERENTIES

Bodrij, A.H., C. Kwakernaak (1987). Expert systemen en het milieu. Stand van zaken en een blik op de toekomst. Rapport SCMO-TNO, Delft.

Hannessen, H. (1987). Ammoniakdepositienormen en Hinderwet; praktijkervaringen en toekomstverwachting. Themanummer Ecologische Normstelling, Landschap jaargang 4: 58-62.

Op 't Veld, D., E. Bijlsma, J. Starmans, H. Timmermans (1987). Kennissystemen in de ruimtelijke planning. Planning nr. 29: 2-10.

Voet, E. van der, H.A. Udo de Haes (1985). Effekten van intensieve veehouderijbedrijven op hun omgeving. Publikatiereeks Milieubeheer no. 23, Ministerie VROM.

ARIE, EEN EXPERT SYSTEEM VOOR SCHATTING VAN DE LEVENSDUUR VAN ORGANISCHE VERBINDINGEN IN DE BUITENLUCHT

H.B. Diepenmaat
A.C. Besemer
W.H.A. van Kampen[1]

Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie (MT)

Postbus 342
7300 AH APELDOORN

SAMENVATTING

ARIE is een expert systeem, dat de reactiviteit van organische luchtverontreiniging schat ten aanzien van het OH-radicaal.
Voor wat betreft alkanen is tevens een uitbreiding gerealiseerd, waardoor het mogelijk is de (voornaamste) vervalreactie te simuleren, met als resultaat inzicht in de gevormde vervalprodukten.
Besproken wordt het kennisdomein op zich, en de overwegingen en problemen die gedurende de ontwikkeling van het systeem gespeeld hebben.

1. INLEIDING

Binnen de informatica is een nieuw fenomeen ontstaan, de Expert Systemen. Dit type systemen probeert de deskundigheid van een expert onder te brengen in een computersysteem. Het nut van expert systemen kan onder andere bestaan uit: het "bij de hand hebben" van de deskundigheid, het ontlasten van de expert van routinematig werk of de overdracht van kennis aan anderen.

De Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie (MT) van TNO heeft als onderzoeksterreinen: Milieu(techniek), Procestechniek, Biotechnologie, Industriële Veiligheid en Energie. Door de onderzoekers in MT wordt veelvuldig gebruik gemaakt van informatica-technieken, enerzijds voor verbetering van de doelmatigheid van hun eigen werk, anderzijds voor het toevoegen van "meerwaarde" aan hun produkt. De afdeling Fysische Meet Technieken (FMT) heeft tot taak de benodigde hulpmiddelen en infrastructuur hiervoor te verschaffen en voert ten behoeve hiervan in samenwerking met de afdelingen van MT onderzoeksprogramma's uit.

Daar er onderzoekers binnen MT werkzaam zijn, die op hun vakgebied te boek staan als "expert", is er gekeken wat de toepasbaarheid van expert systemen zou kunnen zijn voor MT. Een voorbeeld hiervan is kennisoverdracht in een meer "high tech" verpakking dan een rapport, namelijk in de vorm van een expert systeem. Naast een strategische studie naar de mogelijkheden van expert systemen voor MT, moest ook concrete ervaring opgedaan worden met het realiseren van enkele werkende systemen.

Dit artikel beschrijft in het kort de ontwikkeling van een expert systeem dat de levensduur van organische verbindingen in buitenlucht schat. Besproken wordt het kennisdomein op zich, en de overwegingen en problemen die gedurende de ontwikkeling aan de orde zijn geweest.

2. EXPERT SYSTEMEN

Heel in het algemeen wordt onder een expert systeem een computerprogramma verstaan, dat taken verricht, die normaal door een expert verricht worden. Zonder nu een poging te doen om deze omschrijving nader te specificeren zal wel een aantal geaccepteerde karakteristieken van expert systemen gegeven worden.

Eén van de belangrijkste karakteristieken van een expert systeem is natuurlijk, dat het in staat is om kennis van een menselijke expert op te slaan en te gebruiken. Bij een expert moet gedacht worden aan iemand die een jarenlange ervaring heeft opgebouwd in een bepaald kennisdomein.
Een andere karakteristiek is, dat de in het systeem geïmplementeerde kennis over het desbetreffende onderwerp gescheiden is van het deel van het programma dat hiermee redeneert en manipuleert. De domein-specifieke kennis wordt opgeslagen in de kennisbank of "knowledge base". Het redenerende deel van het programma wordt aangeduid als de "inference engine".
De laatste karakteristiek is, dat de kennis in een expert systeem zodanig geïmplementeerd is, dat een expert systeem, in tegenstelling tot een conventioneel systeem, veelal in staat is uitleg te geven over zijn gedragingen: uitleg over het waarom van een vraag en het hoe van een bereikte conclusie.
De domein-specifieke kennis wordt in het algemeen vastgelegd door middel van complexe (gegevens)structuren zoals frames en objecten en door middel van beslissingsregels (IF... THEN... regels). Vooral dit soort regels is populair als representatie van kennis. Voor wat de inference engine betreft zijn verschillende controlestrategieën mogelijk. Men kent voor wat regels betreft onder andere achterwaarts redeneren (backward chaining) en voorwaarts redeneren (forward chaining). Bij achterwaards redeneren wordt getracht een veronderstelde eindtoestand (een doel, het THEN-gedeelte van een regel) te bewijzen door de bijbehorende voorwaarde(n) (het IF-gedeelte) te bewijzen. Door deze voorwaarde als de nieuwe veronderstelde eindtoestand te poneren en deze weer trachten te bewijzen, wordt een redeneerketen (chain) van regels opgebouwd. Bij voorwaarts redeneren wordt getracht vanuit bekende feiten (IF-gedeelte) nieuwe feiten (THEN-gedeelte) af te leiden. Een programma dat voorziet in het redenerende en manipulerende deel van een expert systeem en dat faciliteiten biedt voor het toevoegen van domein-

specifieke kennis, wordt een (empty) expertsysteem shell genoemd. Door een shell te vullen met domein-specifieke kennis ontstaat een expert systeem.
Er zijn nog geen echte, in de praktijk bewezen en op brede schaal toegepaste methoden voor het realiseren van expert systemen. Wel zijn er op dit gebied vele ontwikkelingen aan de gang. Het zal duidelijk zijn, dat, wil het oplossen van dergelijke complexe problemen een kans van slagen hebben, het noodzakelijk is een opsplitsing in deelproblemen of fasen aan te brengen.
Algemeen gesteld zal men in ieder geval de volgende, specifieke fasen aantreffen in het realisatieproces:

* Kennisacquisitie-fase.
  In deze fase wordt de benodigde kennis onttrokken aan de expert (kenniselicitatie). Deze kennis wordt zodanig gestructureerd en geformaliseerd, dat ze geschikt is om in een computer ondergebracht te worden.

* Kennisimplementatie-fase.
  De geformaliseerde kennis wordt geïmplementeerd in de computer in kennisbanken en redeneermechanismen. Hierbij kan een shell gebruikt worden of één van de voor expert systemen veel gebruikte programmeertalen als LISP of PROLOG. Soms wordt echter ook een conventionele, procedurele taal als C gebruikt.

3. HET PROBLEEMDOMEIN

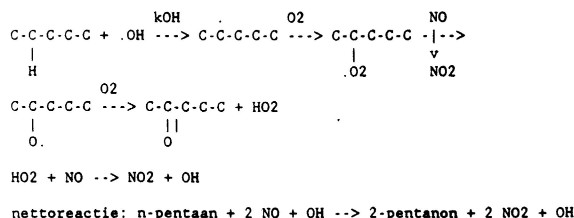
Bekend is, dat het voorkomen van luchtverontreinigende componenten vele nadelige effecten tot gevolg heeft. Genoemd kunnen worden:

- bosschade door zure regen;
- blootstelling van mens, dier en plant aan toxische en/of carcinogene stoffen;
- opwarming van de atmosfeer (broeikaseffect);
- aantasting van de stratosferische ozonlaag;
- ontstaan van zogenaamde fotochemische luchtverontreiniging, waarbij ozon, aldehyden en peroxy-acetylnitraat worden gevormd.

Nadere bestudering laat zien dat de mate waarin mogelijke effecten optreden nauw samenhangt met de reactiviteit van de verantwoordelijke luchtverontreinigende component. Zo zal een stof, die een belangrijke IR-absorptie heeft en chemisch weinig reactief is, bijdragen aan het broeikaseffect, terwijl een reactieve stof hieraan weliswaar weinig bijdraagt, maar wel aanzienlijk bij de vorming van fotochemische luchtverontreiniging kan zijn betrokken. Het is daarom van belang de gemiddelde levensduur van stoffen te kennen, terwijl ook inzicht in de produktvorming belangrijk is.
Het grootste deel van de verbindingen in de troposfeer (de onderste 10 km van de atmosfeer) wordt door chemische afbraak verwijderd. Deze afbraak vindt voornamelijk plaats door reactie van het hydroxylradicaal (OH). Dit deeltje, dat onder invloed van een aantal fotochemische processen wordt gevormd, blijkt reactief ten opzichte van alle in de atmosfeer voorkomende koolwaterstoffen, met uitzondering van de volledig gehalogeneerde.

In figuur 1 is aangegeven op welke wijze het OH-radicaal met koolwaterstoffen kan reageren en hoe de verdere afbraak verloopt.

* Afbraak voor n-pentaan onder invloed van het OH-radicaal (abstractie-mechanisme)



* Afbraak van propeen onder invloed van het OH-radicaal (additie-mechanisme)

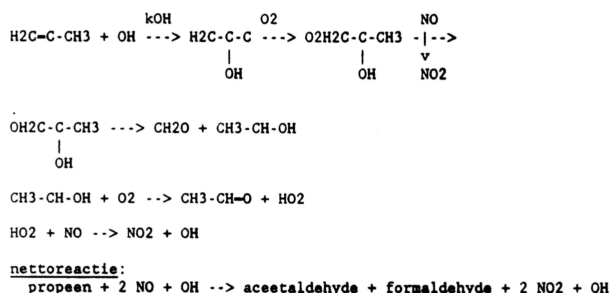


Fig. 1 Reacties van koolwaterstoffen met het OH-radicaal

Het proces kan als volgt worden samengevat:

1. afbraak van een koolwaterstof leidt tot vorming van één of twee carbonylverbindingen;
2. NO wordt omgezet in NO_2, hetgeen kan resulteren in de vorming van O_3;
3. het hydroxyl-radicaal wordt geregenereerd, zodat het proces zichzelf in stand houdt.

Voor de bepaling c.q. schatting van de levensduur van een in de lucht voorkomende verbinding zijn uiteraard twee grootheden van belang:

1. de concentratie hydroxylradicalen;
2. de reactieconstante (kOH): stof + OH —> produkt + OH.

De eerste grootheid is sterk variabel en hangt vooral af van de lichtintensiteit, zodat er sprake is van een sterk dag- en nachtverloop en van seizoensinvloeden. Bovendien is de meteorologische situatie van belang. Gebleken is echter, dat men voor het schatten van de levensduur van de meeste verbindingen kan volstaan met het aannemen van een (jaar)gemiddelde concentratie, mede omdat men vaak stoffen onderling wil vergelijken. Deze concentratie bedraagt $5*10^5$ radicalen per cm^3.
De tweede grootheid levert een andersoortig probleem op. Van slechts een beperkt aantal verbindingen (ca. 300) is de kOH gemeten. Dit aantal is erg laag in relatie tot het aantal geëmitteerde verbindingen (meer dan 70.000). Een gelukkige omstandigheid is, dat voor een aantal stoffen een redelijk nauwkeurige schatting van de kOH te maken is op basis van structuurkenmerken. Dit principe blijkt uit een vergelijking van de kOH voor een homologe reeks koolwaterstoffen. Een toelichting hierop is in tabel 1 gegeven.

Tabel 1. Overzicht van de kOH van een reeks alkanen en alkenen. De kOH is in 10^{12} cm^3 per molecuul per seconde.

ALKANEN	Gemeten kOH (1)	Berekende kOH
methaan	0.008	—
ethaan	0.27	—
propaan	1.22	—
n-butaan	2.58	2.17; 2.53 (2)
n-pentaan	4.13	3.94
n-hexaan	5.70	5.41
n-heptaan	7.30	7.11
n-octaan	9.01	8.60
n-nonaan	10.7	10.2
n-decaan	11.4	11.6

ALKENEN	Gemeten kOH (1)	Berekende kOH
etheen	8.35	—
propeen	25.5 (3)	—
1-buteen	32.4	29.4
1-penteen	35.5	33.4
1-hexeen	36.8	38.0
1-hepteen	39.7	39.6
2-methyl-1-propeen	51.3 (3)	50.1
cis-2-buteen	56.0 (3)	55.1
trans-2-buteen	63	60.1
2-methyl-2-buteen	86.8	82.7
2,3-dimethyl-2-buteen	110	110

1) Meetwaarden +/- 5%
2) Tweede waarde is berekend, aannemende dat een ethylgroep 1.3* sterker activeert dan een methylgroep.
3) De activering van een dubbele binding per methylgroep is 3*; indien een extra methylgroep aanwezig is, is de activeringsfactor 3 bij substitutie aan het zelfde C-atoom, 3.3 bij cis-substitutie aan weerszijden van de dubbele binding en 3.6 bij trans-substitutie.

Aan de hand van deze tabel kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

a. de kOH van ethaan (met 6 H-atomen) is veel hoger dan die van methaan (met 4 H-atomen); kennelijk activeert een methylgroep een naburige methylgroep.
b. De kOH van de methylgroep in ethaan bedraagt $1.35 * 10^{-13}$ cm^3 per molecuul per seconde.
c. Rekening houdend met de kOH van een methylgroep is de kOH van de methyleengroep in propaan: $9 * 10^{-13}$ cm^3 per molecuul per seconde.
d. De reactiviteit van methyl- en methyleengroepen neemt toe naarmate de daaraan verbonden alkylgroepen groter zijn.

Op basis hiervan kunnen regels worden afgeleid, waarmee de kOH van een alkaan nauwkeurig kan worden berekend.
Op soortgelijke wijze kunnen regels voor de reactiviteit van alkenen worden afgeleid. De overeenstemming tussen gemeten en berekende waarden blijkt in het algemeen zeer goed te zijn (+/- 10%).

Het blijkt nu mogelijk om ook de kOH te berekenen voor andere klassen van verbindingen, zoals vertakte alkanen, cyclische verbindingen, aromaten, alkynen, alkadiënen, zuurstof- en stikstofhoudende verbindingen en halogeen bevattende verbindingen.

Omdat men nu de reactiviteit van de individuele groepen en atomen kan berekenen, is het ook mogelijk een schatting te maken van de verschillende verbindingen, die bij reactie met het OH-radicaal ontstaan.
Hieronder volgt een voorbeeld:

kOH van C_1 = 0.16 (C_1 = C_5)
kOH van C_2 = 1.17 (C_2 = C_4)
kOH van C_3 = 1.28

Bij reactie met het OH-radicaal zal in theorie ontstaan:

8% pentanal
59% 2-pentanon
33% 3-pentanon

Hiernaast kan de bijdrage aan de NO-NO_2-omzetting van de verschillende stoffen worden vergeleken op basis van de reactieconstante.

Voor afweging van de effecten is in verband met het grote aantal stoffen en het feit, dat de beoordeling arbeidsintensief is, de hulp van een geautomatiseerd systeem wenselijk.

4. DE REALISATIE VAN ARIE

Voor het schatten van de kOH van organische verbindingen in de buitenlucht (zie hoofdstuk 3) is een expert systeem gebouwd. Dit expert systeem gaat door het leven onder de naam ARIE, wat dit keer eens geen originele afkorting is, maar de voornaam van de expert.

Doel van de kennisacquisitie was het expliciet maken van de wijze waarop een structuurformule door de expert opgedeeld wordt in allerlei groepen en (vuist)regels, die de expert gebruikt om deze kOH te schatten.
Het enige invoergegeven voor de expert - en dus ook voor het systeem- wordt gevormd door de structuurformule van de te behandelen organische verbinding. Door het kennisacquisitie-proces werd duidelijk welke basisgroepen door de expert herkend worden in de structuur, welke vuistregels gehanteerd worden voor bepaling van de basis-kOH van een dergelijke groep en hoe deze basis-kOH beïnvloed wordt door de omgeving van de basisgroep, bijvoorbeeld welke substituenten er waar aanwezig zijn. In figuur 2 staat de oplossingsstrategie afgebeeld, zoals deze door ARIE gehanteerd wordt.

Hoe doet Arie 't

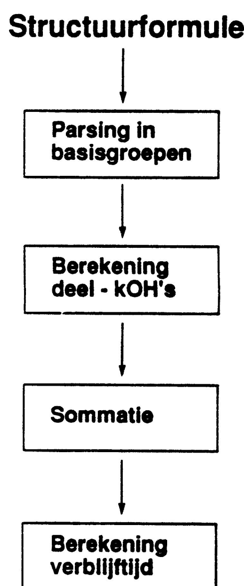


Fig. 2. 'Hoe doet ARIE 't'.

De onttrekking van kennis is gedaan aan de hand van interviews. Terugkoppeling naar de expert vond plaats door middel van interviewverslagen en evaluatie van een prototype.

Het expert systeem is gebouwd in een shell. Omdat de geformaliseerde kennis een sterk numeriek karakter bleek te hebben, is gekozen voor de shell SAVOIR van ICL. Deze shell kent als kennisrepresentatie een zogenaamd inferentienetwerk. Als voorbeeld van een inteferentienetwerk (zie figuur 3) wordt de bepaling van de kOH van cis-buteen gegeven.

Een inferentienetwerk legt de verbanden vast tussen attributen van het probleemdomein.

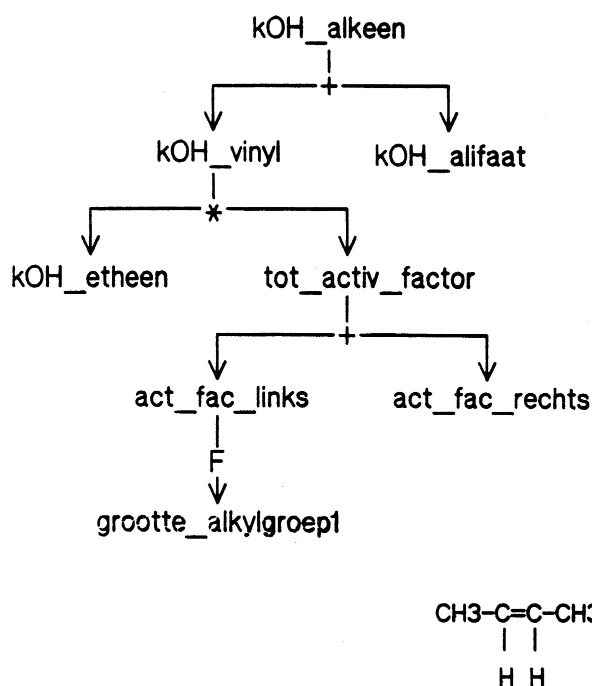


Fig. 3 Inferentienetwerk voor bepaling van de KOH van cis-buteen.

Uit figuur 3 blijkt, dat de kOH van een alkeen (kOH-alkeen) de som is van de kOH van de aanwezige vinylgroep (kOH-vinyl) en de kOH van het alifatisch deel van de structuur (kOH-alifaat). De kOH-vinyl wordt op zijn beurt weer bepaald als het produkt van de kOH van een etheen (kOH-etheen) en de zogenaamde "totale-activerings-factor". Deze factor is op zijn beurt een sommatie van activerings-factoren ten gevolge van een substituent.
Om deze verbanden te kunnen gebruiken bij het trekken van conclusies, bevat de shell SAVOIR een inferentie-mechanisme. In figuur 4 wordt dit mechanisme uitgewerkt.

5. DE REALISATIE VAN ARIE2

Zoals reeds eerder is gezegd, wordt de invoer van het expert systeem gevormd door de structuurformule van de te behandelen organische verbinding. In de eerste versievan het expert systeem ARIE werd de structuurformule niet direct ingevoerd en door het systeem opgesplitst in de basisgroepen en substituenten. Dit gebeurde impliciet door middel van een vraag- en antwoordspel met de gebruiker. Voorbeelden van vragen die het systeem de gebruiker stelt, zijn:

- Hoeveel CH_3- (respectievelijk CH_2, CH) groepen zijn aanwezig?
- Hoe groot zijn de respectievelijke substituenten aan de basis-groepen?

Hoewel de interactieve aanpak goed voldoet, zal het duidelijk zijn dat met name bij grote structuurformules de gebruiker belast wordt met veel vragen.

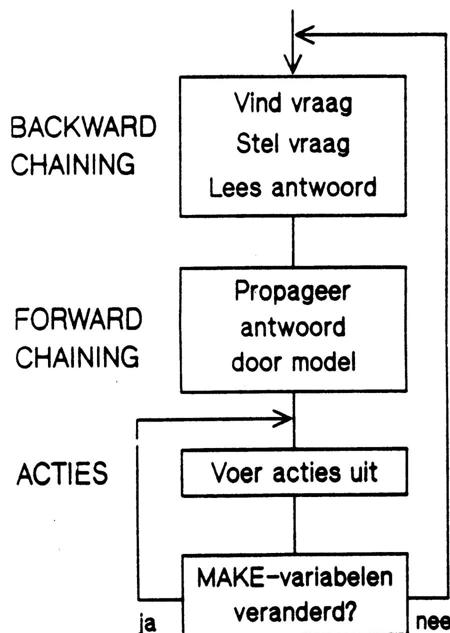


Fig. 4. Inferentie-mechanisme

Bovendien lag er een verzoek van regelgevende instanties (VROM-DGM, Directoraat-Generaal voor de Milieuhygiëne) om het systeem uit te breiden door naast de kOH en de hieraan gerelateerde halfwaardetijd ook de hoeveelheid gevormde oxidant en de belangrijkste vervalprodukten (in het algemeen aldehyden en ketonen) te bepalen. Ook de vervolgreactie van deze vervalprodukten met het OH-radicaal, de halfwaardetijd ervan en de hoeveelheid oxidant (NO_2), die bij deze

vervolgreactie gevormd wordt en onder invloed van licht omgezet kan worden in het veel schadelijker ozon, kan dan geschat worden. Deze uitbreidingen hebben echter tot gevolg, dat gemanipuleerd moet kunnen worden met de structuur van de desbetreffende verbinding en dat de totale structuur dus beschikbaar moet zijn in het expert systeem. Immers, voor het uitvoeren van een reactie op een stof en het aan de gebruiker tonen van de gevormde verbindingen, dient het systeem alle aanwezige atomen en hun bindingen met andere atomen exact te kennen. Het reageren van een stof in computertermen komt dan neer op het manipuleren met aanwezige bindingen.
Het aan de gebruiker vragen van al deze losse stukjes informatie via een interactieve structuur, zoals in de eerste versie van ARIE, zou het systeem onwerkbaar maken. Er is dan ook overgegaan tot het in één keer vragen van de gehele structuurformule aan de gebruiker. Zowel voor het extraheren van de structuur-informatie uit een interne notatie als het manipuleren met deze notatie om aldus reacties te laten plaatsvinden, bleek echter een andere programmeeromgeving nodig dan SAVOIR en is besloten een nieuwe, uitgebreidere versie van ARIE te ontwikkelen, namelijk ARIE2.
Het nieuwe systeem ARIE2 is niet gebouwd in een shell. Het bleek namelijk dat de commercieel verkrijgbare shells geen of dwangmatige mogelijkheden bieden om structuurformules te kunnen opslaan en te manipuleren. ARIE2 is derhalve geïmplementeerd in LISP. LISP is een AI-programmeertaal en staat voor LISt Processing. Deze taal kent de lijststructuur als voornaamste representatievorm. Hierdoor biedt LISP krachtige symbool-manipulatieve faciliteiten. Het functionele karakter van LISP biedt goede mogelijkheden voor verwerking van chemische structuurformules. In wezen bevat een structuurformule de volgende informatie:

* Welke atomen komen voor
* Hoe zijn de atomen met elkaar verbonden
  - welk type binding is er
  - cis of trans conformaties voor alkenen
  - chiraliteit

In het systeem wordt deze kennis als interne notatie opgeslagen in de zogenaamde connectivity-tabel van de verbinding. De vorm van deze interne notatie is natuurlijk een lijst. Figuur 5 geeft een voorbeeld van een dergelijke connectivity-tabel.
Op het hoofdniveau bestaat de lijst uit sub-lijsten, die telkens de informatie bevatten van één specifiek atoom. Ieder atoom heeft een soort PIN-code, dat hem uniek identificeert.

(C 3 (C 2 1)(C 4 2)(C 8 1)) geeft aan dat C-atoomnummer 3 verbonden is via een enkele band (1) met C-atoom 2, via een dubbele band (2) met C-atoom 4 en via een enkele band met C-atoom 8.

((C 3 (C 2 1)(C 4 2)(C 8 1)) geeft aan dat C-atoom nummer 3 verbonden is via een enkele band (1) met C-atoom 2, via een dubbele band (2) met C-atoom 4 en via een enkele band met C-atoom 8.

```
    7 8
    C C
    | |
C-C-C=C-C=O geeft de tabel ((C 1 (C 2 1))
1 2 3 4 5 6                 (C 2 (C 1 1)(C 3 1))
                            (C 3 (C 2 1)(C 4 2)(C 8 1)
                            (C 4 (C 3 2)(C 7 1)(C 5 1))
                            (C 5 (C 4 1)(O 6 2))
                            (O 6 (C 5 2))
                            (C 7 (C 4 1))
                            (C 8 (C 3 1))
```

Fig. 5. Voorbeeld van een connectivity-tabel.

Als de structuurformule gerepresenteerd is in de vorm van een lijst kunnen hierop allerlei LISP-functies losgelaten worden met namen als "find-CCH_3-carbons" etc. De invoer van deze functies is de interne notatie, de uitvoer is de positie in de structuur van respectievelijk alle aanwezige primaire, secundaire en tertiaire koolstofatomen. Reacties kan men simuleren door in de interne notatie atomen en bindingstypen te wijzigen. Ook het splitsen van moleculen is geen probleem. Er bestaat bijvoorbeeld een functie, genaamd "perform-reaction-at-CC_3H", die een bepaald koolstofatoom een reactie met een OH-radicaal laat aanvangen. Het resultaat is de interne notatie van de structuurformules van reactieprodukten.

6. CONCLUSIES

Hieronder volgt een aantal conclusies en ervaringen, opgedaan tijdens de realisatie van beide expert systemen:

* Het blijkt zeer wel mogelijk de vrij specifieke chemische kennis betreffende het schatten van de reactiviteit van organische luchtverontreiniging en het voorspellen van reactiemechanismen onder te brengen in expert systemen. Dergelijke systemen kunnen in de toekomst een belangrijk instrument vormen voor regelgevende instanties.

* Tijdens de kennisacquisitie wordt impliciete kennis van een expert expliciet gemaakt en gestructureerd. Hierdoor wordt de kennis vaak beter overdraagbaar. Tevens ziet men in een aantal gevallen als spin-off van een dergelijk proces, dat bepaalde "witte vlekken" in het kennisdomein aan het licht komen. Dit is bij de realisatie van ARIE ook gebeurd, wat nieuwe onderzoeksonderwerpen heeft opgeleverd. Daarnaast kwam de expert tot de ontdekking dat de door hem gehanteerde probleemaanpak en vuistregels meer algemeen bruikbaar waren dan oorspronkelijk gedacht. Het bleek mogelijk een aantal vuistregels te veralgemeniseren tot algoritmen.

* Het hier gehanteerde formalisme - het schatten van stofeigenschappen

(mede) aan de hand van structuurkenmerken - is veel breder toepasbaar. Voorbeelden hiervan zijn het schatten van de octanol-water-partitie-coëfficiënt en het kookpunt van organische verbindingen. Het hier gepresenteerde systeem toont duidelijk aan, dat dit soort kennis implementeerbaar is in een computerprogramma en dus wijd verbreidbaar is.

* Veel meer (deels) chemische kennis dat tot nu toe in brede kringen wordt aangenomen, leent zich voor formalisering en dus voor implementatie in een expert systeem. Zoals een chemicus bepaalde functionele groepen kan onderscheiden in een structuurformule en reacties en vervolgprodukten kan poneren, kan een expert systeem dit ook. Het systeem tast als het ware de structuurformule af, wat iets heel anders is dan het opzoeken van een formule in een databank. Op grond van gevonden structuurkenmerken, eventueel gekoppeld aan andere informatie, worden bepaalde aannamen gedaan en acties ondernomen. Deze wijze van kennisopslag in het expert systeem gaat aldus meer lijken op de manier, waarop bepaalde concepten in handboeken voor bijvoorbeeld organische chemie aan de orde komen.

REFERENTIES

[1] Atkinson, R., K.R. Darnall, A.C. Lloyd, A.M. Winer, J.N. Pitts Jr
Kinetics and Mechanism of the Reactions of the Hydroxyl Radical with Organic Compounds in the Gas Phase.
Advances in Photochemistry 11, 377 (1979).

[2] Hendry, D.G., R.A. Kenley
Atmospheric Reaction Products of Organic Compounds
EPA-report 560/12-79/001PB301384.

[3] Cupitt, L.T.
Fate of Toxic and Hazardous Materials in the Air Environment
EPA-report 600/S3-80-084PB221948.

[4] Singh, B.H.
Atmospheric Halocarbons: Evidence in Favor of Reduced Average Hydroxyl Radical Concentration in the Troposphere
Geophysical Research Letters 4, 101 (1979).

[5] Besemer, A.C.
Afbraak-mechanismen en Levensduur van een aantal in de Atmosfeer Voorkomende Verbindingen
TNO-rapport HMT R 83/234.

[6] Atkinson, R., W.P.L. Carter, S.M. Aschman, J.N. Pitts Jr
Atmospheric Fates of Organic Chemicals: Predictions of Ozone and Hydroxyl Radical Reaction Rates and Mechanisms
EPA-report 600/2-85/063PB85-2415.

[7] Steele, G.L. Jr.
Common Lisp, the Language
Digital Press, Digital Equipment Corporation (1984).

[8] Anderson, J.R., A.T. Corbett, B.J. Reiser

Essential LISP
Addison-Wesley Publishing Company (1987).

[9] Steels, L.
Programmeren in LISP
Academic Service Press, Den Haag (1983).

[10] Breuker, J., B. Wielinga
KADS, een overzicht van een methodologie voor het bouwen van expert systemen
Proceedings NAIC-88, Amsterdam (1988).

[11] Yazdani, M.
How to Find Practical Expert System Projects
Expert System User, October 1988.

VOETNOOT

[1] W.H.A. van Kampen is per 1-1-1989 werkzaam bij BSO-AI te Utrecht.

EEN KENNISSYSTEEM VOOR DE ONDERSTEUNING VAN SEISMISCHE INTERPRETATIE

Th.J.A. Kemme en J.A.C. Jacobs

Dienst Grondwaterverkenning TNO (TNO-DGV)

Postbus 285
2600 AG DELFT

SAMENVATTING

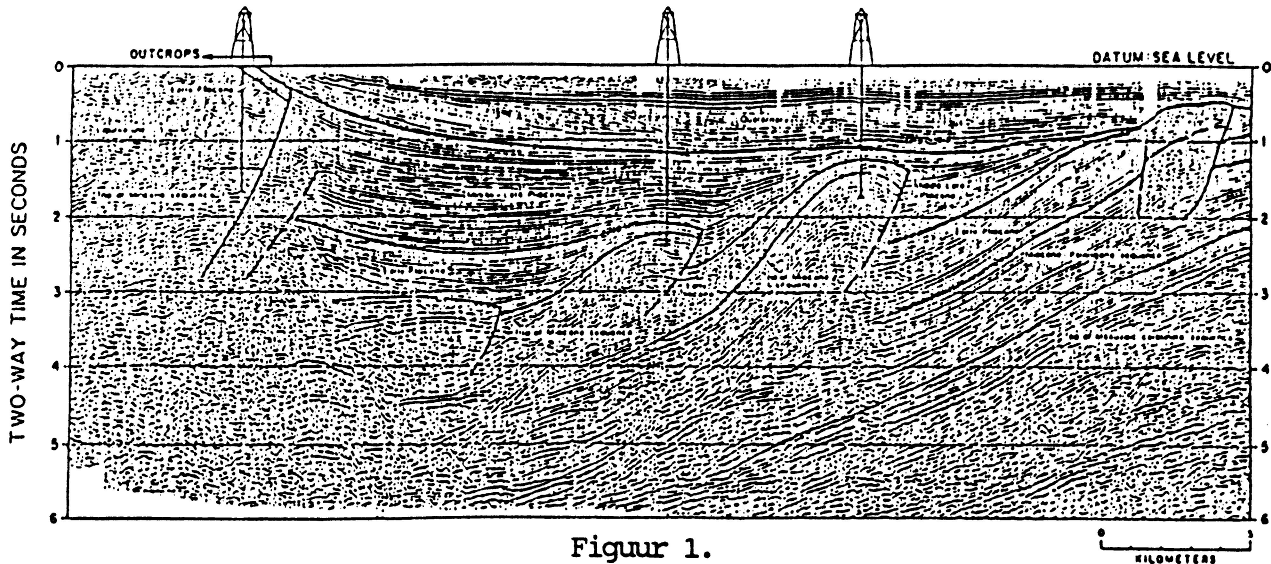
Interpretatie van seismische data is een zeer complexe en tijdrovende bezigheid, uitgevoerd door hoog gekwalificeerd personeel. Op grond van de resultaten worden voorspellingen gedaan m.b.t. lokatie en volume van eventuele olie- en gasvoorkomens. Methoden om de kwaliteit en de efficiëntie van seismische interpretatie te verbeteren zijn dan ook zeer gezocht. In deze bijdrage wordt beschreven hoe een dergelijke kwaliteits- en efficiëntieverbetering tot stand gebracht kan worden door de geïntegreerde toepassing van conventionele en kennissysteemtechnieken.

1. INLEIDING

De seismische methode is één van de belangrijkste geofysische hulpmiddelen voor de bepaling van de geologische structuur van de ondergrond. Seismische data worden verkregen door middel van de opwekking van trillingen in de ondergrond en het vervolgens registreren van de signalen die teruggekaatst worden door ondergrondse structuren. Dit proces resulteert in seismische afbeeldingen van de ondergrond (figuur 1). Het doel van seismische interpretatie is het herkennen van geologische structuren in deze seismische profielen. Gebaseerd op de interpretatie kunnen b.v. voorspellingen gedaan worden met betrekking tot lokatie en volume van eventuele olie- en gasvoorkomens.

De laatste jaren wordt steeds meer gebruik gemaakt van interaktieve werkstations ter ondersteuning van seismische interpretatie. Deze werkstations stellen de gebruiker in toenemende mate in staat alle soorten informatie die een rol spelen tijdens de interpretatie (seismische, geografische en boorputgegevens en de (tussen)resultaten van de interpretatie), op een gebruikersvriendelijke manier in te voeren, op te slaan, te manipuleren en te presenteren. Werkstations zijn geavanceerde hulpmiddelen geworden waarmee seismische secties

samen met boorput gegevens geïnterpreteerd, contourkaarten gegenereerd en relaties tussen secties bestudeerd kunnen worden.



Figuur 1.

Het optimaal gebruik maken van alle beschikbare informatie om tot een optimale oplossing van het interpretatieprobleem te komen, wordt echter nog steeds volledig aan de gebruiker overgelaten. Op elk moment tijdens de interpretatie is er een grote hoeveelheid informatie van verschillende soorten die in ogenschouw genomen dient te worden. Al deze informatie kan dan wel beschikbaar zijn in iedere gewenste vorm op een (geavanceerd) werkstation, het consequent en correct gebruik ervan is nog steeds een zaak van de gebruiker. Hij kan informatie over het hoofd zien of niet consequent gebruiken, of zich de beperkingen van de data en de invloed van geologische, data acquisitie en data processing omstandigheden niet realiseren. De kwaliteit en de efficiëntie van het interpretatieproces zouden dan ook verbeterd kunnen worden wanneer het werkstation intelligente assistentie zou verlenen om het optimaal gebruik van de beschikbare informatie te verzekeren. Een dergelijk systeem is potentieel uiterst waardevol, omdat een toename van de interpretatiekwaliteit uiteindelijk leidt tot een hogere exploratieproduktiviteit (d.w.z. minder mislukte dure boringen). Daarom is een onderzoeksproject uitgevoerd met als doel een geavanceerd seismisch werkstation (EPOS[1]) uit te breiden met een intelligente ondersteuningsfunctie.

2. PROBLEEM CLASSIFICATIE

Het seismische interpretatie probleem wordt gekarakteriseerd door de transformatie van signaaldata (de seismische data) in symbolische resultaten (het geologisch model) [Nii et al., 1982]. Spraak- en beeldherkenning zijn verwante probleemgebieden [Erman et al., 1980], [Matsuyama en Hwang, 1985]. Beeldherkenning is met name interessant vanwege het ruimtelijke karakter van de objecten in de oplossingsruimte, hetgeen ook bij seismische interpretatie het geval is. De grootste verschillen zijn gelegen in de mate waarin de oplossingsruimte begrensd wordt en de afstand tussen waarneming en resultaat (spraak- en beeldherkenning hebben betrekking op het

herkennen van goed gedefinieerde objecten in een tamelijk directe afbeelding, seismische interpretatie op de observatie van een 'plausibel' geologisch model in een zeer indirecte seismische afbeelding).

Werk m.b.t. de toepassing van kunstmatige intelligentie technieken richt zich over het algemeen op het automatisch oplossen van een probleem door middel van imitatie van het menselijk probleemoplossend vermogen. Naar onze mening zullen er echter altijd elementen in het probleemoplossend proces aan te wijzen zijn die beter uitgevoerd worden door een mens, en andere die beter uitgevoerd kunnen worden door een machine. Beiden hebben hun sterke en zwakke kanten. Bij een probleem als seismische interpretatie stellen de visuele inspectiemogelijkheden van een mens hem in staat op associatieve wijze geologische structuren te herkennen in seismische data. Dit is moeilijk te imiteren door een computersysteem. Aan de andere kant zijn er zwakke punten aan te wijzen in het menselijk probleemoplossen, die o.h.a. te maken hebben met een gebrek aan geheugen, gebrek aan consequent gedrag en gebrek aan rekenkracht. Dit zijn natuurlijk precies de sterke kanten van een computer.

Onze aanpak is dan ook niet gericht op het automatiseren van het menselijk probleemoplossend proces, noch op het imiteren ervan. Zij is gericht op het construeren van een systeem dat de gebruiker de mogelijkheid geeft zijn sterke kanten optimaal te benutten, en hem ondersteunt bij zijn zwakke punten door gebruik te maken van specifieke computervaardigheden. Deze overwegingen hebben geleid tot de definitie van een aantal basisfuncties voor een intelligente ondersteuningsfunctie.

3. FUNCTIONALITEIT VAN HET SYSTEEM

We hebben ons geconcentreerd op de constructie van een module voor de ondersteuning van structurele seismische interpretatie, met de volgende functionaliteit:

- Het controleren van de interpretatie op geologische en geofysische regels. Het systeem volgt de interpretatie, zoekt voortdurend naar toepasselijke controles, en past deze consequent toe. Dit betekent dat ook controles uitgevoerd worden die gebruik maken van informatie die niet voortdurend onder de aandacht van de gebruiker is. Bijvoorbeeld, bepaalde signaaleigenschappen, die zeer onderscheidend kunnen zijn onder bepaalde omstandigheden, maar die niet consequent gebruikt worden in de praktijk, eenvoudig omdat interpreters normaal slechts een specifieke signaaleigenschap afgebeeld zien (b.v. de amplitude plot). Het systeem is ook selectief: het past alleen die regels toe die daadwerkelijk toepasbaar zijn op de huidige geologische, data acquisitie en data processing omstandigheden. De meeste fouten tijdens seismische interpretatie worden veroorzaakt door het over het hoofd zien van specifieke omstandigheden die deformaties veroorzaken in positie, vorm en reflectiekarakter van het seismische beeld van geologische structuren. Ook de beperkingen van de informatie worden meegenomen (resolutie).

- Assistentie voor de continuering van de interpretatie, d.m.v. het

propageren van geologische en geofysische regels. Het systeem past opnieuw alleen de werkelijk toepasbare regels toe, en alle toepasbare regels, waardoor een volledig en correct gebruik van alle beschikbare informatie gewaarborgd wordt. Het systeem combineert geofysische en geologische regels om nieuwe geologische structuren te vinden. Zo zal het b.v. zoeken naar een specifiek amplitudepatroon, bepaald door een geofysische regel, in een gebied en met een vorm die bepaald zijn door de toepassing van geologische regels.

- Assistentie voor het oplossen van inconsistenties in de interpretatie (het aangeven van hun vermoedelijke oorsprong), d.m.v. het zoeken naar slecht geconfirmeerde keuzes in het redenatieproces.

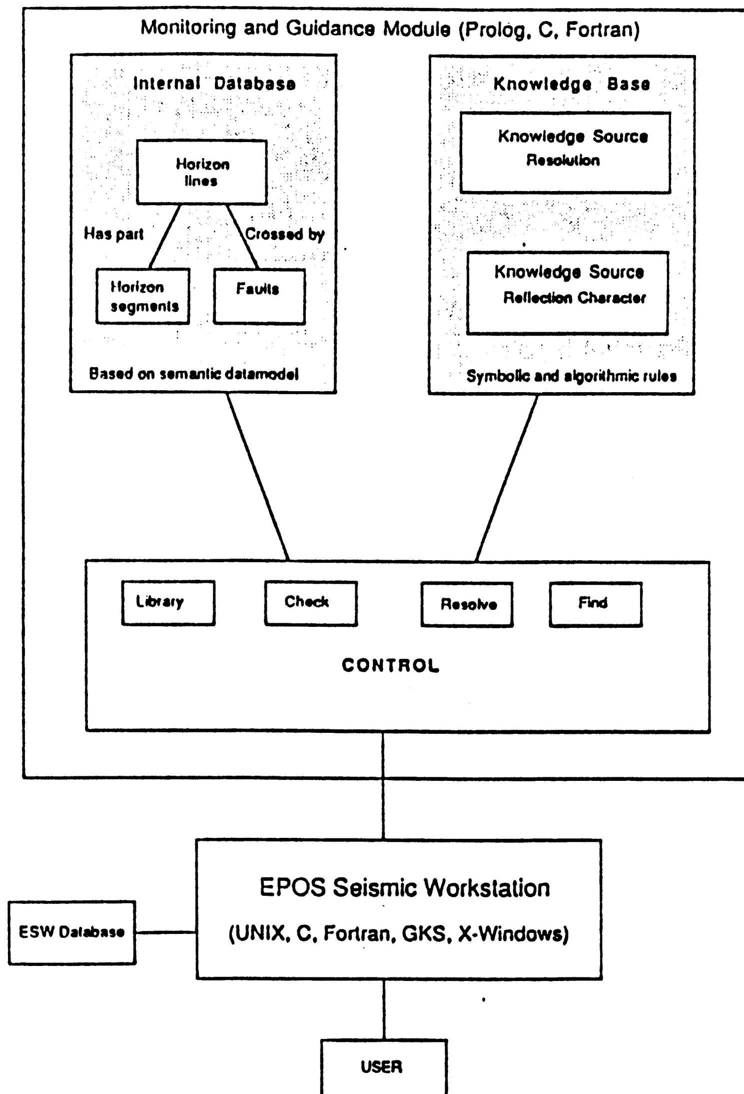
- Een kennisbibliotheek, te gebruiken als naslagwerk of voor opleidingsdoeleinden.

4. SYSTEEMOVERZICHT

De algemene structuur van het systeem is afgebeeld in figuur 2. Alle functionaliteit van het systeem is gebaseerd op de formele beschrijving en het expliciet gebruik van geofysische en geologische regels (constraints/regels). Deze kennis is niet altijd beschikbaar in de goede vorm, d.w.z. geschikt voor gebruik door het systeem. De noodzakelijke kennisformalisatie is in het algemeen niet een eenvoudig proces, ten gevolge van het signaal- en ruimtelijk karakter van de kennis. De representatie dient ook rekening te houden met de discrepantie tussen de theorie en de praktijk (ruis). Syntactische beschrijvingen van ruimtelijke en signaalpatronen zijn veelvuldig gebruikt om deze problemen het hoofd te bieden. Een voorbeeld van de formalisatie van een geofysische regel kan aangetroffen worden in appendix A.

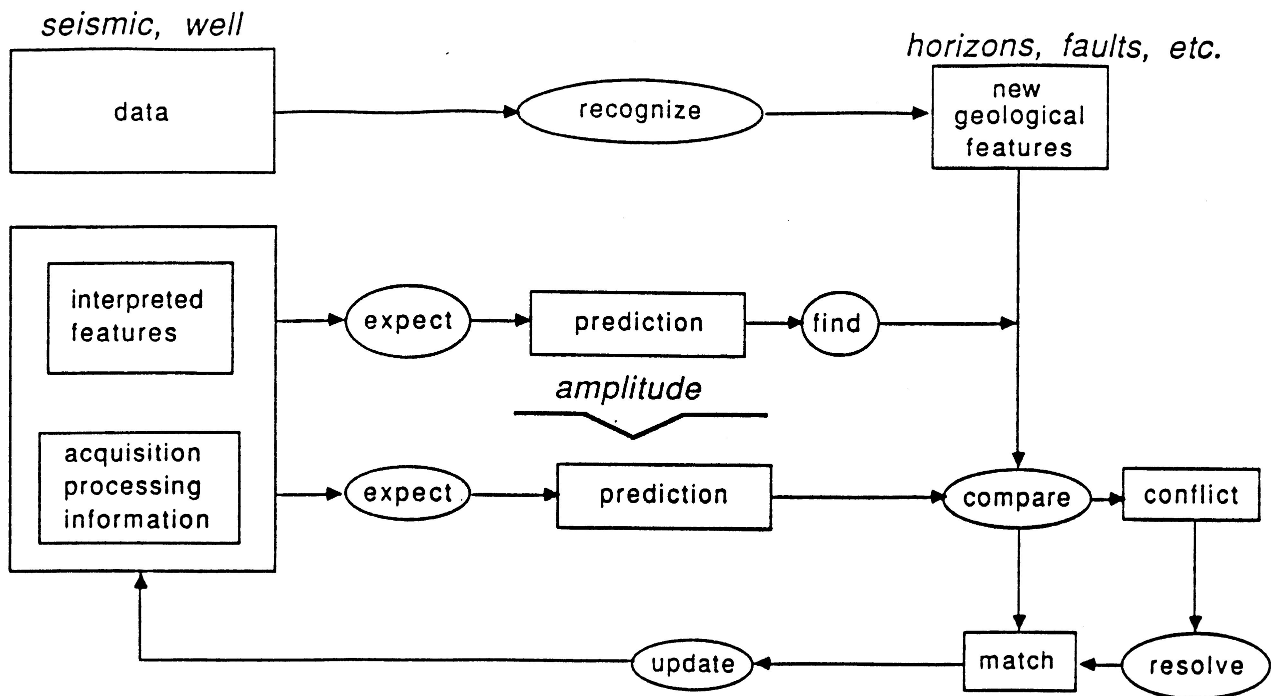
Elke geformaliseerde regel vormt de basis voor een knowledge source (KS) in het systeem. Samen vormen de knowledge sources de knowledge base. Elke KS is een module, in staat om de kennis waarop ze gebaseerd is te gebruiken op de verschillende manieren als vereist door de verschillende assistentiefuncties die hierboven beschreven zijn.

Een semantisch informatiemodel van het interpretatieproces vormt de basis voor de object georiënteerde interne database van het systeem. Alle informatie noodzakelijk voor de ondersteuning van de interpretatie kan er aan onttrokken worden m.b.v. een krachtige queryfunctie. Als informatie niet expliciet opgeslagen is in de database, zal het database management systeem procedures aanroepen om de informatie op te halen uit de externe EPOS database of haar af te leiden uit andere informatie. De database kan dus ook deductief genoemd worden. Caching van afgeleide informatie vindt facultatief plaats.



Figuur 2.

Een analyse van het probleemoplossend proces heeft geresulteerd in een model dat gediend heeft als basis voor de constructie van het controle mechanisme van het systeem (figuur 3). De grootste kracht van een menselijke interpreter is zijn vaardigheid om associatief geologische structuren te herkennen door visuele inspectie van ruimtelijke en signaalpatronen ('recognize' in figuur 3). Deze associatieve herkenning is moeilijk na te bootsen door een computersysteem. Gelukkig is er nog een andere, meer gecontroleerde wijze van redeneren, die zich beter voor computerondersteuning leent. Het idee is dat we eerst proberen uit te vinden waar we naar moeten kijken, wat te verwachten van de plaats, de vorm en het



Figuur 3.

reflectiekarakter van een geologische structuur (de focus) die we proberen te vinden of willen controleren ('expect' in figuur 3). Als assistentie gevraagd wordt tijdens de interpretatie, zal het systeem regels selecteren die toepasbaar zijn op de data acquisitie en data processing omstandigheden en het reeds geïnterpreteerde geologisch model in de omgeving van de focus. Deze regels worden dan gebruikt om verwachtingen te formuleren omtrent de positie, de vorm en het reflectiekarakter van de geologische structuur (constraint propagation [5]). Deze kunnen dan gebruikt worden om een nieuwe structuur te vinden of om een reeds geïnterpreteerde structuur te controleren. Omdat te allen tijde alleen de knowledge sources getriggerd worden die werkelijk toepasbaar zijn op de huidige situatie, wordt een correcte interpretatie van de beschikbare informatie gewaarborgd. Verder worden alle toepasbare knowledge sources gebruikt, dus ook die welke informatie gebruiken die min of meer verborgen is voor de gebruiker van een werkstation. Dit waarborgt het volledig gebruik van de informatie.

Wanneer een inconsistentie optreedt, zal de resolve functie van het systeem de waarschijnlijke oorzaak ervan opsporen, door slecht geconfirmeerde schakels in de inferentieketen op te sporen (dependency directed backtracking [5]).

Voordat men kan overwegen een kennissysteem te ontwikkelen, dient men eerst een 'workbench' te ontwikkelen die de gebruiker in staat stelt om alle informatie die gebruikt en geproduceerd wordt op een gebruikersvriendelijke wijze in te voeren, op te slaan en te presenteren. Boven op een dergelijk systeem, dat ontwikkeld kan worden met 'conventionele' technieken, kan men dan proberen een kennissysteem te ontwikkelen dat de gebruiker ondersteunt bij het oplossen van zijn probleem. In ons project wordt de rol van de workbench gespeeld door het EPOS werkstation. Het is geïmplementeerd in C en Fortran onder

UNIX System V en maakt voor haar zeer gebruikersvriendelijke (grafische) user interface gebruik van X-windows en GKS. Het heeft verder de beschikking over een relationele database geschikt voor het gebruik van de grote hoeveelheden geofysische en geologische informatie.

De intelligente ondersteuningsmodule is ontworpen als een geïntegreerd deel van het werkstation (figuur 2). Terwijl de gebruiker het werkstation gebruikt, volgt de assistentiemodule de acties van de gebruiker in een afzonderlijk achtergrondproces, gebruik makend van idle time op het systeem (een interpreter denkt veel) om zijn informatie-structuren bij te werken, zodat snel gereageerd kan worden op verzoeken om assistentie. Te allen tijde blijft de gebruiker de baas, en bepaalt hij de mate van ondersteuning van het systeem. Het systeem is ontworpen om de interpretatie samen met de gebruiker tot een optimaal resultaat te voeren. De gebruiker is onmisbaar voor de associatieve herkenning van geologische structuren, en voor het oplossen van moeilijke conflicten. Natuurlijk is het systeem in staat zijn conclusies uit te leggen, gebruik makend van natuurlijke taal en graphics.

5. IMPLEMENTATIE

Na een grondige bestudering van de beschikbare ontwikkelingsgereedschappen, hebben we gekozen voor de logische programmeertaal Prolog om (de kern van) het systeem te ontwikkelen. Prolog ondersteunt de representatie, opslag en manipulatie van relationele informatiestructuren en constraints. Samen met de patroonherkenningsmogelijkheden, is het een geschikte taal voor de ontwikkeling van een kennissysteem in ons probleemgebied. Een algemene programmeertaal was nodig, omdat de ruimtelijke en signaaleigenschappen van de kennis in het probleemdomein vaak een ad hoc aanpak vereisen voor representatie en gebruik van de kennis. Ook de noodzakelijke integratie met het EPOS werkstation maakt het gebruik van een algemene programmeertaal nodig. De communicatie met C en Fortran maakt het mogelijk alleen de delen die symbolische manipulatie vereisen in Prolog te implementeren, en de rest in C en Fortran. Dit maakt een soepele communicatie met de EPOS werkstationomgeving (met name de EPOS database) mogelijk alsmede het gebruik van bestaande geofysische software en van de GKS en X-windows standaards voor de constructie van de user interface.

6. CONCLUSIES

Een prototype systeem is geïmplementeerd, gebaseerd op een beperkte hoeveelheid kennis waarin echter alle typen kennis die een rol spelen tijdens seismische interpretatie vertegenwoordigd zijn. Het prototype systeem toont aan dat de kwaliteit en efficiëntie van seismische interpretatie verbeterd kan worden door het verlenen van intelligente computerassistentie zoals hierboven beschreven. Het modulaire ontwerp van het systeem ondersteunt de onderhoudbaarheid en uitbreidbaarheid, zodat het geleidelijk kan groeien naar hogere ondersteuningsniveaus. De ontwikkeling van efficiënte representaties voor ruimtelijke en signaalkennis en hulpmiddelen die de toevoeging van kennis aan het

systeem vereenvoudigen, zullen belangrijke onderwerpen van onderzoek blijven.

REFERENTIES

[1] Nii, H.P. et al., 1982, Signal-to-symbol transformation: HASP/SIAP case study: AI Magazine, 3, 23-25.

[2] Erman, L., et al., 1980, The Hearsay-II speech understanding system: Integrating knowledge to resolve uncertainty: Comput. Surv., 12, 213-253.

[3] Matsuyama, T., and Hwang, V., 1985, SIGMA: a framework for image understanding-integration of bottom-up and top-down analysis: Proc. 9th Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence, Los Angelos, 908-915.

[4] Lu, S.Y. and Cheng, Y.C., 1986, Design considerations for a seismic interpretation system: Extended Abstracts 56th. meeting of the SEG, Houston, 190-193.

[5] Stallman, R.M., and Sussman, G.J., 1977, Forward reasoning and dependency directed backtracking in a system for computer aided circuit analysis: Artificial Intelligence 9, pp. 135-196.

VOETNOTEN

[1] The integrated Exploration and Production Office System; Delft Technologies VOF.

Focus	: horizon
Focus-property	: reflection character
Dependency	: a fault crossing a horizon causes a decrease in normalized amplitude along the horizon from 1 half a Fresnel zone away from the fault to 0.5 at the fault

A formalization of this dependency in terms of the information model is :

Focus	: horizon
Focus description	: [Tr1, Tr2]
	([starttrace, endtrace])
Focus property	: reflection character
Geological situation	: [Tr3, Tr4, fault]
	(fault positioned somewhere between Tr3 and Tr4)
Acquisition and processing situation	: unmigrated
Expectation (syntactic descr.)	: [(Tr_a, Tr_b, constant, C1, C1), (Tr_b, Tr_c, decrease, C1, C2), (Tr_c, Tr_d, increase, C2, C1), (Tr_d, Tr_e, constant, C1, C1)]
	with :
	Tr_b = Tr_c - Fresnel/2 Tr_c between Tr3 and Tr4 Tr_d = Tr_c + Fresnel/2
	C2 ~ 0.5 * C1

VOCHT-DIAGNOSE EXPERT-SYSTEEM

K.H. Oey

IBBC-TNO
Postbus 49
2600 AA DELFT

SAMENVATTING

VDES, hetgeen de afkorting is van Vocht-Diagnose Expert-Systeem, is het concrete resultaat van het project Vocht-Expert. Het doel van VDES is om bouwfysisch minder ervaren, maar wel bouwtechnisch geschoolde medewerkers, te ondersteunen bij het stellen van vocht-diagnoses. Als doelgroep van het VDES-systeem worden bouwtechnische medewerkers beoogd van met name woningbouwcorporaties, controlerende instanties en regionale inspecties van de Rijksgebouwendienst. Maar in principe kunnen ook anderen VDES toepassen, met dien verstande dat wel enige technische vaardigheid en inzicht wordt vereist ten aanzien van woningen en gebouwen.

1. DOELSTELLING

Het doel van het project Vocht-Expert is een expertsysteem te ontwikkelen dat bouwfysisch minder ervaren, maar bouwtechnisch wel geschoolde medewerkers, ondersteunt bij het stellen van vocht-diagnoses. Als doelgroep worden bouwtechnische medewerkers beoogd van met name woningbouwcorporaties, controlerende instanties en regionale inspecties van de Rijksgebouwendienst. Maar in principe zouden ook anderen het te ontwikkelen expertsysteem kunnen toepassen, met dien verstande dat wel enige technische vaardigheid en inzicht wordt vereist ten aanzien van woningen en gebouwen.

2. HET ENGELSE BREDAMP

Het Engelse BREDAMP is de aanleiding geweest tot het project Vocht-Expert. BREDAMP is ontwikkeld door de Universiteit van Loughborough in opdracht van het British Research Establishment (BRE). Het doel van dit systeem was te onderzoeken in hoeverre een dergelijk expertsysteem de belasting van de vochttechnische mederwerkers van het BRE zou kunnen ontlasten. Het BRE is een onderdeel van het Engelse 'Ministerie of Environment', vergelijkbaar met ons ministerie

van VROM. Het BRE heeft echter ook een balie-functie, waar Britse burgers met vragen terecht kunnen. Eén van de onderwerpen waarover veel vragen worden gesteld zijn vochtproblemen. In de praktijk blijkt dat veel van deze vragen voor de vochttechnische-medewerkers min of meer routine vragen zijn. Zij worden echter wel zwaar belast met het afhandelen van deze vragen. BREDAMP is er op gericht een zodanig diagnose/advies-systeem te ontwikkelen dat ook minder getrainde medewerkers goede adviezen kunnen geven. De 'echte' experts zouden dan worden ontlast, zodat zij meer tijd hebben voor moeilijker problemen.

Uit nader onderzoek door het IBBC-TNO is echter gebleken dat zowel de doelgroep, als de Engelse situatie weinig overeenkomsten vertonen met de Nederlandse doelgroep en situatie. Hoewel het BREDAMP-systeem als zodanig wel als startpunt heeft gefungeerd, is voor het Nederlandse systeem een geheel eigen methodiek en systematiek ontwikkeld, welke sterk afwijkt van het BREDAMP-systeem. Wel zijn een aantal mechanismen uit het Engelse systeem terug te vinden in VDES. Echter, de vochtproblematiek is fysisch in Engeland niet anders dan in Nederland, en ook zonder kennis te hebben van BREDAMP zouden op vele plaatsen overeenkomsten te constateren zijn.

3. ALGEMEEN MODEL VDES

VDES is gebaseerd op een algemeen model (fig. 1), waarin de relaties zijn vastgelegd tussen vochtfenomenen, vochtbronnen en vocht-transport-mechanismen. Dit model kan zowel van boven naar beneden, als van beneden naar boven gelezen worden. Bovenaan zijn met vierkante blokjes de vochtfenomenen aangegeven, d.w.z. de vorm waarin vochtproblemen zich manifesteren. Onderaan zijn in ronde-rechthoekige blokje de bronnen aangegeven, waarvan het vocht afkomstig kan zijn. De relatie tussen vocht-fenomenen en vochtbronnen wordt aangegeven door de verbindingslijnen. Hierbij zijn in cirkeltjes de mechanismen vermeld welke bij de relaties een rol spelen.

vocht transport

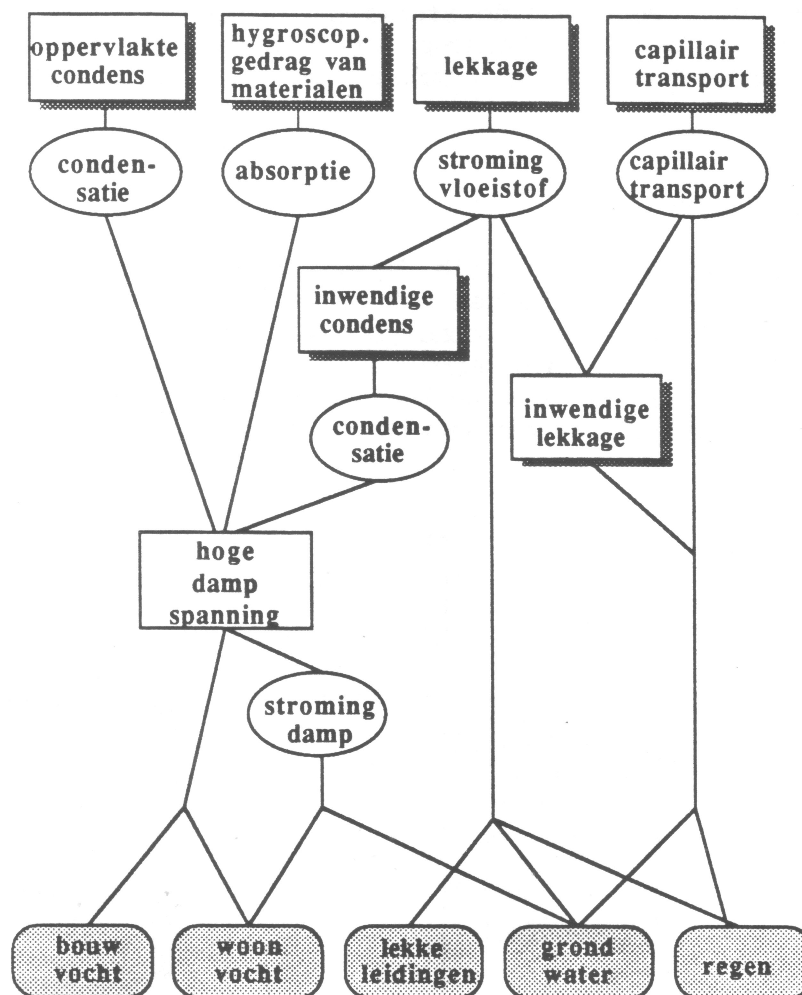


fig. 1 Algemeen model VDES

4. KENNIS-ANALYSE

Eén van de meest cruciale fases in het ontwikkelen van expertsystemen is het analyseren en vastleggen van kennis. Bij het ontwikkelen van VDES heeft veelvuldig overleg plaatsgevonden met medewerkers van de

afdeling Bouwtechnologie van het IBBC-TNO. Uitgaande van het BREDAMP-systeem is in de beginperiode veel tijd besteed aan het onderscheid tussen vochtfenomenen en vochtbronnen. Dit onderscheid wordt bij BREDAMP niet gemaakt, maar is van zeer grote invloed geweest op de achterliggende methodiek van VDES. Bij het controleren en testen van deelmechanismen is gebruik gemaakt van casestudies. Daar het IBBC-TNO veelvuldig wordt betrokken bij een breed scala aan vocht-problemen, kon beschikt worden over een groot aantal praktijk gevallen, vastgelegd in rapporten. Aanvullend hebben inhoudelijke discussies plaatsgevonden met de verschillende leden van de begeleidingscommissie. Ten aanzien van bijvoorbeeld de problematiek van koude bruggen heeft extra overleg plaatsgevonden met het Bouwcentrum. Samen met de afdeling Civiele Techniek is veel aandacht besteed aan de mathematische onderbouwing van met name de kans op oppervlakte-condensatie, welke ook in een aparte module is vastgelegd.

5. OPBOUW VDES

VDES is opgebouwd uit drie lagen (fig. 2). Eerst worden algemene vragen gesteld welke leiden tot een voorlopige diagnose. In de tweede laag wordt de voorlopige conclusie verder uitgewerkt door het stellen van aanvullende vragen welke de voorlopige conclusie onderbouwen of juist afzwakken. In de derde laag worden de conclusies weergegeven over de mogelijke oorzaak van het vochtprobleem.

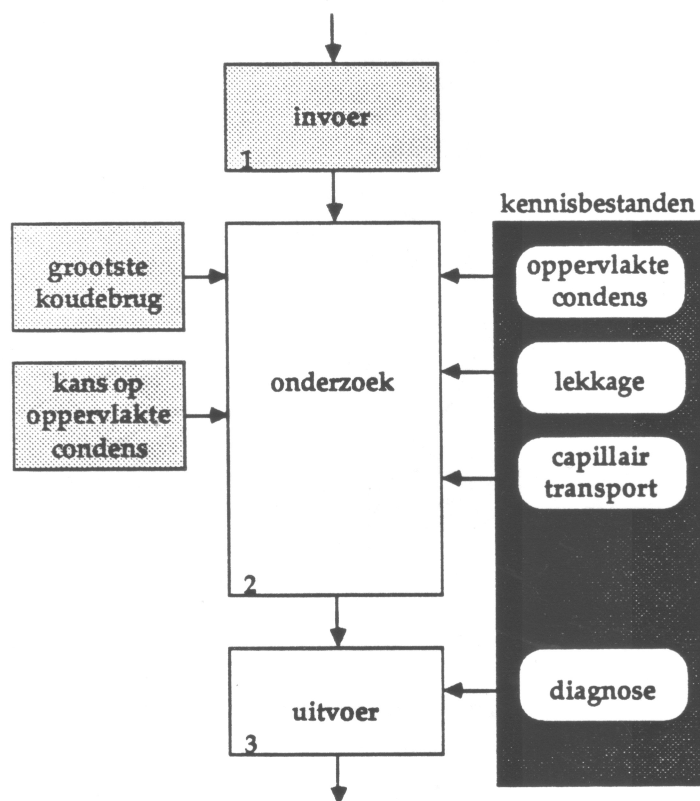


fig. 2 Opbouw VDES

Een voorlopige conclusie zou er als volgt kunnen uitzien:

De kans dat de plek wordt veroorzaakt door
de volgende fenomenen is:
* oppervlakte condensatie = laag
* hygroscopisch gedrag = zeer onwaarschijnlijk
* lekkage = zeer hoog
* capillair transport = hoog

Na het beantwoorden van de vragen uit de tweede laag zou de bijbehorende conclusie er als volgt uit kunnen zien:

De vochtplek wordt waarschijnlijk veroorzaakt door:

Oppervlakte condensatie	nihil	(0%)
Hygroscopisch gedrag van zouten	nihil	(0%)
Lekkage	hoog	(42%)
Capillair transport	hoog	(72%)

Lekkage is een mogelijke oorzaak:
het vocht is afkomstig van regenwater dat via een opening bij de aansluiting van het platte dak in de spouw van de wand komt en door opening in de wand aan het licht komt.
De kans dat een lekkage de oorzaak is van het probleem wordt op 42% geschat.

Capillair transport:
Regenwater komt van het platte dak in de spouw terecht en komt daar door de wand naar binnen. De wand is niet in staat dit capillaire transport tegen te houden.
De kans dat een capillair transport de oorzaak is van het probleem wordt op 72% geschat.

5.1 Laag-1 VDES

In eerste instantie was het de bedoeling het expertsysteem te laten bepalen welke vragen op een bepaald moment aan de gebruiker gesteld moeten worden. Dit had echter als nadeel dat deze vragen voor de gebruiker op een onlogische en vaak op een overwacht moment gesteld werden. Zeker als het een groot aantal vragen betreft kan dit zeer verwarrend zijn. Bij vocht-diagnose is er sprake van een dergelijke situatie. In totaal zullen enkele tientallen vragen beantwoord dienen te worden. Als dit 'lukraak' door elkaar geschiedt, zal dit ongetwijfeld tot gevolg hebben dat vragen verkeerd worden begrepen en verkeerd zullen worden beantwoord.
Tevens is gebleken dat voor vrijwel alle vochtproblemen een groot aantal vragen altijd beantwoord dienen te worden. Maar ook deze groep omvat al een 20-tal vragen. Het is dan ook van groot belang dat deze vragen 'gestructureerd' worden. Hiermee wordt bedoeld dat samenhangende vragen direct na elkaar worden gesteld en dat verbijzonderingen direct worden gevraagd. En niet als minste is het van belang dat de gebruiker kan nalezen wat hij of zij heeft geantwoord op een eerdere vraag. En vooral dat een eerder antwoord op een eenvoudige wijze kan worden verbeterd en/of kan worden veranderd.

Bij expertsysteemshells is het eigenlijk niet mogelijk een optimaal resultaat te bereiken ten aanzien van het presenteren van samenhangende vragen, het geven van een overzicht van eerder beantwoorde vragen en het bieden van mogelijkheden om antwoorden te veranderen en/of te verbeteren. Dit heeft dan ook geleid tot het toepassen van een zogenaamd 'window-pakket'. Met een dergelijk software-pakket is het mogelijk een zeer gebruiksvriendelijke schermopbouw te realiseren, met uitgebreide mogelijkheden voor uitleg en verbeteringen. Deze inleidende laag van VDES is gebaseerd op een drietal schermen met samenhangende vragen. Bij het beantwoorden van deze vragen kan per vraag om een toelichting worden gevraagd en kan, voor zover dit mogelijk is, met de cursor gekozen worden uit een aantal standaard antwoorden. Per scherm is het tevens mogelijk de verschillende antwoorden te verbeteren, hetzij doordat een tikfout gemaakt is, hetzij doordat, de andere vragen overziend, toch een ander antwoord gewenst is. Een voorbeeld van een dergelijk scherm ziet er als volgt uit:

Zijn er schimmels op meubels? (j/n) (binnen enkele meters van de plek)	nee
Is er dubbelglas in de ruimte?	nee
Is er vaak condens op het dubbelglas?	
Is er enkelglas in de ruimte?	ja
Is er vaak condens op het enkelglas?	nee
Zijn er kringen rond de plek?	ja
Is er zoutuitbloei rond de plek?	nee
Is er een relatie met regenbuien?	ja

Ter ondersteuning van laag-1 zijn twee formulieren ontwikkeld: een vragenlijst en een figuren-bladen (zie bijlage). In de praktijk zal het veelvuldig voorkomen dat het niet mogelijk en/of gewenst is dat ter plaatse van het vochtprobleem een consultatie-sessie met VDES wordt uitgevoerd. Voor deze situaties is een vragenlijst ontwikkeld, welke ter plekke kan worden ingevuld. Later kan aan de hand van deze ingevulde vragenlijst antwoord worden gegeven op de vragen van VDES. Het nadeel van deze vragenlijst is wel dat lang niet alle vragen ook relevant zijn voor het probleem.
De figuren bladen zijn ontwikkeld om de vorm, plaats en vochtigheid van de vochtplek aan te geven. Eén van de overwegingen waar lang over gediscussieerd is, is de vorm van deze figurenbladen. Het is mogelijk foto's te gebruiken bij het classificeren van vochtplekken. Ook in VDES zou gebruik kunnen worden gemaakt van gescande foto's. Het grote nadeel van deze oplossing is echter dat dergelijke foto's veel afleidende informatie bevatten, welke niet relevant is bij het identificeren van vochtplekken. Vervolgens is een uitgewerkt, waarbij van een groot aantal mogelijke situaties alternatief tekeningen zijn gemaakt. Het probleem bij deze oplossing was dat niet alleen een zeer groot aantal tekeningen noodzakelijk zou zijn, maar dat vooral problemen zouden optreden bij het weergeven van de mate van

vochtigheid (hoe geef je op een tekening het verschil aan tussen vochtig, nat, schimmels etc).
Uiteindelijk is gekozen voor een schematische oplossing, waarbij op een drietal figurenbladen de verschillende plaatsen, vormen en mate van vochtigheid zijn aangegeven (fig. 3).

In eerste instantie is overwogen om deze figuren op te nemen in VDES. Het probleem om een dergelijke oplossing te realiseren is vooral technisch. De verschillende DOS-computers maken gebruik van verschillende grafische standaards. Om de figuren gechikt te maken voor al deze grafische standaards, zou voor iedere standaard een apart programma dienen te worden ontwikkeld. Vooral uit het oogpunt van onderhoud en updates zou dit een extra belasting betekenen. Bij het uitwerken van de (papieren) figurenbladen is echter gebleken dat het nauwelijks problemen oplevert om naast het programma VDES gebruik te maken van die figurenbladen. Integendeel, het beschikken over papieren figurenbladen is zelfs te verkiezen boven computer-figuren, daar het met papieren figurenbladen eenvoudiger is de verschillende oplossingen en mogelijkheden met elkaar te vergelijken en te combineren.

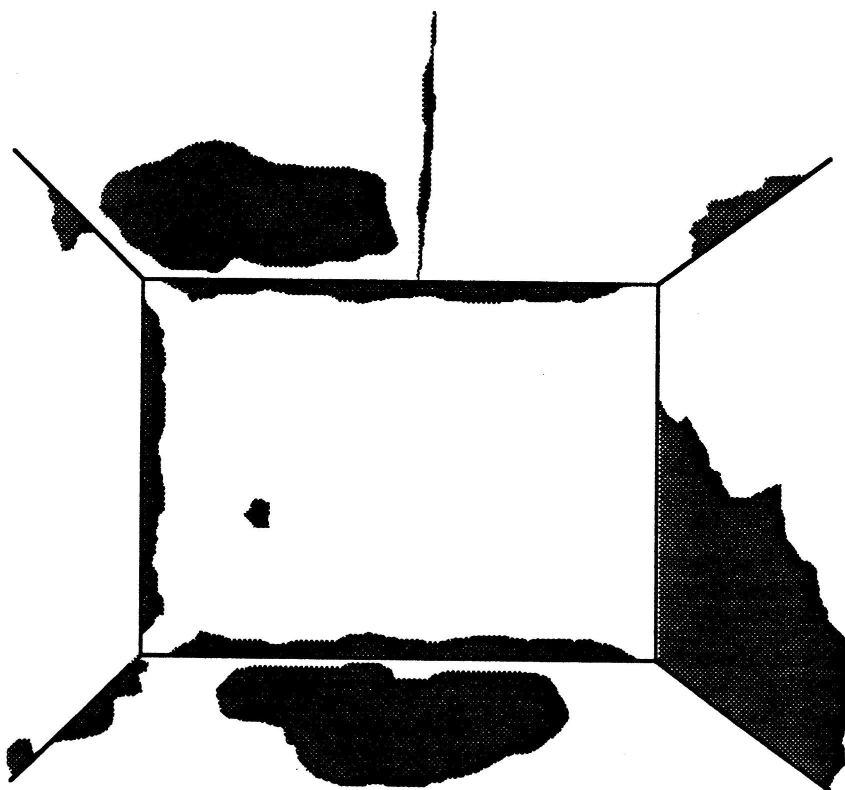


Fig. 3 Figuren blad

5.2 Laag-2 en laag-3 VDES

Laag-2 van VDES bestaat uit drie afzonderlijke kennisbestanden, welke overeenkomen met de fenomenen oppervlakte-condensatie, lekkage en capillair-transport. Het fenomeen hygroscopisch gedrag van zouten is gecombineerd met oppervlakte-condensatie, daar deze beide fenomenen voor een groot deel dezelfde informatie gebruiken. Het resultaat van de laag-1 is een indicatie van de waarschijnlijkheid dat een bepaald fenomeen ook daadwerkelijk de oorzaak is van het vochtprobleem. In principe worden in de tweede laag alleen die oorzaken nagelopen die een hoge of zeer hoge waarschijnlijkheid krijgen. De andere fenomenen worden niet verder gecontroleerd, tenzij dit specifiek door de gebruiker wordt aangegeven.

Door middel van gedetailleerde vragen wordt in de laag-2 getracht het optreden van een bepaald fenomeen te onderbouwen. Als de gegeven antwoorden het optreden van een bepaald fenomeen versterken, dan zal in de eind-diagnose dit fenomeen een grotere waarschijnlijkheid krijgen. Omgekeerd zal de eind-diagnose minder waarschijnlijk worden als de gegeven antwoorden het optreden van een bepaald fenomeen niet bevestigen. Bij de bepaling van de eind-diagnose voor oppervlakte-condens worden twee additionele rekenmodules gebruikt voor de bepaling van de kans op oppervlakte-condensatie en de grootste koude brug.

6. VERANTWOORDING

Hoewel de huidige versie 1.1 van VDES wel functioneert, zijn nog verschillende aanpassingen noodzakelijk voordat VDES ook daadwerkelijk kan worden toegepast door de beoogde doelgroep. Met name de communicatie tussen de gebruiker en VDES zal nog verbeterd moeten worden, terwijl ook nog aandacht noodzakelijk is voor meer inhoudelijk aspecten, zoals het samenvallen van meerdere vochtproblemen heroverweging van antwoorden. Tevens zou in de vervolg fases aandacht moeten worden besteed aan het aangeven van (mogelijke) oplossingen.

Het onderzoek aan VDES is mogelijk gemaakt door een opdracht van het Directoraat-Generaal van de Volkshuisvesting (VROM/DGVH), de Directie Coordinatie Bouwbeleid (VROM/DCB) en de Rijksgebouwendienst (RGD). De ontwikkeling van VDES is begeleid door een begeleidingscommissie, waarin vertegenwoordigers zitting hadden van het Bouwcentrum, De Nationale Woningraad (NWR), het Nederlands Christelijk Instituut voor de Volkshuisvesting (NCIV) en de afdeling der Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft (CT-TUD). Binnen het IBBC-TNO vindt de ontwikkeling van VDES plaats in het kader van het 'Pilot-Projecten-Programma Expertsystemen', waarbinnen op een veel breder gebied onderzoek wordt gedaan naar de toepassing van expertsystemen in de bouw. Ondermeer worden toepassingen ontwikkeld voor brandpreventie, tegeltechnologie, betonschade diagnose, lastechnologie, bestekken en regelgeving.

REFERENTIES

[1] Oey, K.H., Eindrapport fase-1 project Vocht-Expert, IBBC-TNO rapportnr. BI-88-110, maart 1989

AUTOPES, EEN STAP VERDER IN PROCESAUTOMATISERING

L.M. Schrijnen en G. Wagenaar

Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie (MT)
Afdeling Industriële Veiligheid (IV)

Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

M. v.d. Kerkhof en A. Sassen

Hoofdgroep Technisch-Wetenschappelijke Diensten (TWD)
Instituut voor Toegepaste Informatica (ITI)

Postbus 214
2600 AE Delft

SAMENVATTING

In de industrie wordt een groot aantal produktieprocessen van zeer complexe aard gebruikt. Simulatie van processen, teneinde de realisatiemogelijkheden van de procesdoelstellingen te verbeteren, is echter niet bruikbaar bij produktieprocessen, die niet mathematisch beschreven kunnen worden. Ontwerpers en gebruikers zoeken derhalve naar andere methodieken om hun processen te leren kennen. Indien de regels en procedures voor het beheersen van dergelijke produktieprocessen expliciet te maken zijn, moet het mogelijk zijn om met behulp van technieken uit de AI de procesbesturing verder te automatiseren. TNO zet met AUTOPES een nieuwe stap in procesautomatisering.

1. INLEIDING

In de industrie wordt een groot aantal produktieprocessen van vaak zeer verschillende aard en complexiteit gebruikt. Van een aantal van deze processen is zeer veel bekend. Als zo'n proces goed - met name wiskundig - te beschrijven is, kan door middel van simulatie dit proces beter beheersbaar zijn, waardoor de realisatiemogelijkheden van de diverse doelstellingen van het proces bestudeerd en mogelijk verbeterd kunnen worden.

Het hulpmiddel simulatie is echter niet bruikbaar bij produktieprocessen die niet of slechts gedeeltelijk kunnen worden beschreven op een mathematische wijze. Toch worden veel van dit soort processen toegepast, bijvoorbeeld kraakinstallaties, diffusie processen, prillen etc. Ontwerpers en gebruikers van deze processen zoeken derhalve naar andere methodieken om de geheimen van hun processen te leren kennen.

De beheersing van deze processen is gebaseerd op ervaring. Operators weten hoe setpoints moeten worden gekozen om een bepaalde toestand van het proces te kunnen bereiken en hoe er bij het weglopen van deze toestand moet worden bijgeregeld. Keuze van setpoints en wijze van bijregelen zijn van diverse criteria afhankelijk, zoals bijvoorbeeld de verhouding van output en energieconsumptie, minimale kostprijs van de output, stationaire produktie, up en down scalen, opstarten, stoppen, etc. Deze deskundigheid is in het algemeen aanwezig bij wachtchefs en ervaren operators.

De Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO beschikt op haar locatie in Apeldoorn over een wervelbedverbrandingsinstallatie, i.c. een "Atmospheric Fluidised Bed Boiler" (AFBB), welke bemand wordt door ervaren operators. Het proces in deze installatie voldoet aan de kenmerken zoals die hierboven zijn geschetst. De AFBB van MT-TNO heeft een vermogen van 4 MWth. In de bijlage wordt het principe van de wervelbedverbranding uiteengezet.

Het geautomatiseerde deel van de procesbesturing van deze AFBB bestaat uit een beveiliging met behulp van twee PLC's [Smeets, 1977], die ondersteund worden door een minicomputer en een aantal regelkringen die de ingestelde setpoints trachten te handhaven. Het bedrijven van het proces zonder bemanning is mogelijk: wanneer als gevolg van het afdrijven van een procestoestand -de gemeten proceswaarden gaan steeds meer afwijken van de ingestelde setpoints- het proces in een gevarenzone terecht komt, zal een beveiliging het proces stoppen.
De complexiteit van het proces kan gekarakteriseerd worden door het aantal bestuurbare procesparameters en het aantal daartoe ter beschikking staande bedieningsmogelijkheden. In de AFBB-installatie wordt een tiental, niet onafhankelijke, procesparameters door de operators bestuurd door de bediening van een honderdtal knoppen.

Indien de regels en procedures, die ervaren operators toepassen voor het beheersen van produktieprocessen zoals hierboven genoemd, expliciet te maken zijn, moet het mogelijk zijn om met behulp van AI-technieken de procesbesturing verder te automatiseren. Daarbij worden dan tegelijk nieuwe mogelijkheden gecreëerd om een aantal bewakingsfuncties uit te voeren ten behoeve van de veiligheid: de procesbesturing kan periodiek nagaan of het proces zich in de richting van een potentieel onveilige toestand beweegt en of het proces op dat moment de uitvoering van een noodstop of een andere veiligheidsprocedure toelaat.

Op initiatief van de afdeling Industriële Veiligheid is een projectvoorstel uitgewerkt om een expertsysteem te ontwikkelen als hulpmiddel bij de procesbeheersing van de AFBB-installatie. In dit project, waar de werkwijze van de operators de basis voor het systeem vormt, wordt de kennis gebundeld van de MT-afdelingen Industriële Veiligheid en

Verbrandingstechniek en van het Instituut voor Toegepaste Informatica.
Het te ontwikkelen systeem zal in eerste instantie geen directe invoer leveren aan de installatie. Er zal wel sprake zijn van een indirecte koppeling: het systeem zal adviezen geven aan de operator.

2. DOELSTELLINGEN VAN HET PROJECT

Voor het AUTOPES-project is een drietal doelstellingen geformuleerd. Deze worden hier kort toegelicht.

1. De voornaamste doelstelling betreft het realiseren van een operationeel expertsysteem in een procesomgeving [Waterman, 1986]. Dit expertsysteem zal de operators adviezen verstrekken ten aanzien van de procesbeheersing van de wervelbedinstallatie.

2. Tweede te bereiken doel in dit project is het opdoen van kennis en ervaring omtrent de realisatie van expertsystemen in het algemeen en die ten behoeve van procesbeheersing in het bijzonder. Bijzondere aandacht wordt ook gegeven aan de relatie met de ontwikkeling van conventionele software. De opgedane kennis en ervaring zal niet alleen ten goede komen aan de direct betrokkenen, maar ook aan andere TNO-instituten en derden.

3. Tenslotte zal er binnen dit project een marktstudie uitgevoerd worden naar de integratie van expertsystemen in een procesomgeving. Deze studie zal uitgevoerd worden door literatuurrecherche en door het bezoeken van een aantal bedrijven met procesinstallaties. Ook een marktanalyse zal onderdeel uitmaken van deze studie met name om de kansen van TNO in dit marktsegment te bepalen. Het ontwikkelde expertsysteem kan hierbij een rol spelen.

Deze paper gaat in op het bereiken van de eerste twee doelstellingen.

3. HET EXPERTSYSTEEM

Welke aspecten belangrijk zijn in het stadium van eisendefinitie van expertsysteemprojecten in het algemeen staat momenteel nog niet helemaal vast. Uit de conventionele software ontwikkeling is echter bekend dat bijzondere aandacht geschonken dient te worden aan:

- De omgeving waarin het te ontwikkelen softwaresysteem moet gaan draaien en de gebruikers die met dat systeem in die omgeving moeten gaan werken.
- Een goede en duidelijke systeemomschrijving. Hierbij spelen vooral een rol de functies, invoer, uitvoer, performance, etc. van het te ontwikkelen systeem.
- Het bepalen van de testprocedures voor het te ontwikkelen softwaresysteem, dat wil zeggen het vaststellen van de testmethoden die gebruikt gaan worden en de tijdstippen waarop die methoden toegepast worden.

Bovengenoemde onderwerpen worden in dit hoofdstuk ook als leidraad genomen.

3.1 Gebruikersmodel

Het gebruikersmodel schetst een beeld van de toekomstige gebruikers van het operationele expertsysteem. Dit model heeft zowel betrekking op de omgeving van de gebruikers als op enige kenmerken van de gebruikers met betrekking tot het te ontwikkelen expertsysteem. Hier zullen enige kenmerken van de gebruikers aan de orde komen.

Gebruikerskenmerken.

Teneinde te komen tot een eerste bepaling van de kenmerken van de gebruikers is een drietal oriënterende gesprekken met hen gevoerd. Leidraad bij deze gesprekken was een aantal karakteristieken van de gebruiker, afgeleid van de KADS ("Knowledge Acquisition and Structuring") methodologie, zoals die ontwikkeld is door de Universiteit van Amsterdam [Breuker, 1987]. Deze karakteristieken zijn:

- de kennis van de gebruiker
- de rol van de gebruiker
- de verwachtingen die de gebruiker van het systeem heeft
- de vergissingen/misvattingen die de gebruiker kan maken/hebben
- de doelen van de gebruiker en
- de criteria voor acceptatie door de toekomstige gebruiker.

Deze karakteristieken kunnen bepaald worden gedurende de gehele looptijd van een project in wisselwerking met de gebruikers. Dit houdt in, dat regelmatig overleg met de gebruikers noodzakelijk is. Methoden, die dienen tot de opstelling van zo'n model, zijn o.a. interviews en simulaties. Hieronder volgen enige resultaten van de gevoerde gesprekken aan de hand van de bovenstaande karakteristieken.

1. Kennis van de gebruiker

De kennis van de gebruikers wordt hier onderverdeeld in twee categorieën, domeinkennis en automatiseringskennis. De kennis van het domein is in ruime mate aanwezig bij de gebruikers. De gebruikers zijn namelijk de operators. Overigens zijn de meeste operators in dit project ook DE experts, wier kennis mede bepalend is voor het systeem. Gebruikers en experts kunnen in dit project dus dezelfde personen zijn. De kennis van automatisering in het algemeen en van expertsystemen in het bijzonder is gering. Eén operator heeft ruime ervaring in het programmeren van PLC's.

2. De rol van de gebruiker

De voornaamste rol, die de gebruikers wensen, is geadviseerd worden, dat wil zeggen, de voorkeur gaat uit naar een systeem dat ongevraagd adviezen geeft. Er is echter bereidheid uitgesproken om in bepaalde gevallen terugkoppeling naar het systeem te verzorgen. Dit varieert van het beantwoorden van enige vragen tot de eliminatie van bepaalde hypotheses die het systeem voorstelt. Dit laatste houdt in

dat, als het systeem een hypothese oppert en de operator ziet dat deze hypothese onjuist is, de operator bereid is deze wetenschap terug te koppelen naar het systeem. Voorwaarde is een beperkte tijdsinspanning van de operators.

3. Verwachtingen en doel van de gebruiker

Eén van de verwachtingen die de gebruikers geuit hebben betreft de verschillen in werkwijze van de operators. Het systeem zal uniformiteit in het gedrag van de operators brengen, bijvoorbeeld bij het opstarten van de AFBB.

3.2 Systeemomschrijving

Doel van het te bouwen expertsysteem (dat zelf het eerste doel van het project is) is het leggen van relaties tussen de werkwijzen van de verschillende operators en de realisatiemogelijkheden van de procesdoelstellingen. Deze werkwijze is aan verandering onderhevig onder andere omdat aan de procesinstallatie aanpassingen gedaan worden.

De functie van het systeem is het adviseren van de operators van de AFBB omtrent de keuze van setpoints. Hierin liggen taken in verband met:
- het voorkomen van gevaarlijke procestoestanden;
- het vasthouden van een procestoestand;
- het overgaan van de ene naar de andere procestoestand.

Het opstarten en afschakelen van de installatie zijn als bijzondere procestoestanden aan te merken.

Uit de systeemfunctie en het gebruikersmodel volgt een aantal eisen die aan het expertsysteem gesteld kunnen worden. Ten aanzien van de invoer ligt er de wens om van zo weinig mogelijk invoer via het toetsenbord uit te gaan. Met andere woorden, de betrokkenheid van de operator moet hierbij minimaal zijn. De invoer zal daarom vooral vanuit de installatie dienen te komen. De uitvoer van het expertsysteem is een advies in de vorm van tekst en/of grafische presentatie. Vanuit het expertsysteem gezien is er dus wel een directe invoerkoppeling vanuit de wervelbedinstallatie, maar geen directe uitvoerkoppeling naar de installatie toe.

Met betrekking tot de snelheid waarmee het expertsysteem moet gaan werken, kan worden gezegd dat het systeem zo snel mogelijk adviezen moet verstrekken in die gevallen waarin de procestoestand van de installatie daar aanleiding toe geeft, echter uiterlijk binnen een nader te bepalen tijdstip vanaf het moment waarop de operators ingrijpen in het proces. Uit de eisen die ten aanzien van deze performance gesteld worden, volgt dat er geen sprake zal zijn van zogenaamde "real-time" problemen.

3.3 Testprocedures voor het expertsysteem

De testprocedures voor een expertsysteem worden opgesteld aan de hand van een aantal criteria, die ieder voor zich één van de te testen

aspecten van het expertsysteem vertegenwoordigen [Hayes-Roth, 1983], [Liebowitz, 1986]. Voor elk criterium wordt een methode en een tijdstip van toetsing aangegeven. De criteria, die hier gehanteerd worden, zijn:

- validatie van het kennismodel;
- kwaliteit van de redenatie;
- kwaliteit van de adviezen;
- interactie met de gebruiker.

4. KENNIS EN ERVARING

Voor alle projectmedewerkers is het niet de eerste keer dat zij meewerken aan de realisatie van een expertsysteem. Aan de andere kant kan ook weer niet gesteld worden dat er ruime ervaring voorhanden is op dit terrein. Centrale vraag bij het vastleggen van opgedane kennis en ervaring zal zijn: "Hoe worden expertsystemen ontwikkeld?" Het bouwen van een dergelijk systeem valt onder de categorie software ontwikkelprojecten.

Toch kan men zich terecht afvragen of de ontwikkeling van expertsystemen afwijkt van conventionele software ontwikkeling en zo ja, waar en waarom? Met andere woorden: waar kunnen bestaande methoden, technieken en gereedschappen gebruikt worden voor de projectbeheersing en de systeemontwikkeling en waar niet? Speciaal zal worden gelet op de eisen die gesteld dienen te worden aan expertsystemen die moeten gaan functioneren in een procesomgeving, en met name de eisen die gesteld moeten worden aan de omgeving (mensen, hardware, software) waarin dergelijke systemen ontwikkeld worden.

5. DE STAND VAN ZAKEN

Het AUTOPES project is twee jaar geleden op stapel gezet. De resultaten van de werkzaamheden zijn veelbelovend. Op dit moment wordt een prototype van het expert systeem gebouwd. Dit is mede gebaseerd op een model van de kennis dat opgesteld is volgens de KADS-methodologie en een logisch systeem model dat volgens de Yourdon methodiek is samengesteld.

Binnen- en buitenlandse partijen, zowel industrieën als onderzoeks-instellingen, hebben belangstelling getoond voor de resultaten en voor samenwerking in vervolgprojecten op AUTOPES.

REFERENTIES

[1] Breuker, J.
Model-Driven Knowledge Acquisition: Interpretation Models
Universiteit van Amsterdam, 1987

[2] Hayes-Roth, F., Waterman, D., Lenat, D., (Eds.)
Building Expert Systems
Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1983

[3] Liebowitz, J.
Useful approach for evaluating expert systems
in: Expert Systems, Volume 3, No. 2, April 1986

[4] Smeets, Th.H.M.J.
Programmable logic controller
in: de Constructeur, nrs. 7-10, juli-october 1977

[5] Waterman, D.A.
A Guide to Expert Systems
Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1986

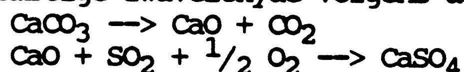
Bijlage: Principe Wervelbedverbranding

In deze bijlage wordt kort het principe van de wervelbedverbranding uiteengezet.

Onder wervelbedverbranding wordt verstaan het verbranden van een brandstof in een asbed dat door een verticaal omhoog gerichte luchtstroom in een heftig wervelende beweging wordt gehouden. Tegelijk met de brandstof kunnen toeslagstoffen worden toegevoerd. Door een zeer goede menging in het wervelbed ontstaat een goed contact tussen de lucht, de brandstof en de toeslagstoffen. Dit leidt tot een homogene temperatuur in het bed, terwijl ongewenste verbrandingsprodukten aan de toeslagstoffen worden gebonden en in vaste vorm worden afgevoerd.

De snelheid van de luchtstroom door het bed is zodanig dat het gehele bed in beweging is zonder dat te veel deeltjes met de luchtstroom worden meegesleurd. Wordt de luchtsnelheid, meestal fluïdisatiesnelheid genoemd, te laag dan zakken de grotere deeltjes bedmateriaal naar beneden en gaan stilliggen, wat voorkomen moet worden. Wordt de luchtsnelheid te groot, dan wordt te veel bedmateriaal met de luchtstroom meegenomen, en komt men terecht in het gebied van het pneumatisch transport. Neemt men bovenstaande grenzen in acht, dan mag de fluïdisatiesnelheid variëren tussen ongeveer 1 en 3 m/sec. Het korrelvormige bedmateriaal bestaat uit een mengsel van as, afkomstig uit de aan het bed toegevoerde kolen en toeslagstoffen. Boven het bed bevindt zich een ruimte (het freeboard), waarin het opgeworpen bedmateriaal gelegenheid krijgt om terug te vallen in het bed.

Nadat het bed gefludiseerd is wordt met behulp van gas- of oliebranders het bedmateriaal op een temperatuur van ca. 550 graden Celsius gebracht. Vervolgens worden kolen aan het bed toegevoerd welke ontsteken en de bedtemperatuur verder opvoeren. Is de bedtemperatuur hoog genoeg geworden, dan kunnen de opstartbranders uit bedrijf genomen worden en kan de bedtemperatuur naar gelang de gevraagde belasting opgevoerd worden. Tegelijk met de kolen wordt kalksteen aan het bed toegevoerd. Deze kalksteen reageert met de uit de kolen afkomstige zwaveloxyde volgens de reacties:



$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$
$$CaO + SO_2 + {}^1/_2\, O_2 \longrightarrow CaSO_4$$

Hierdoor wordt de SO2 voor het overgrote deel uit de rookgassen verwijderd en in de vorm van $CaSO_4$, gips, als vaste stof afgevoerd. Bovengenoemde reacties verlopen optimaal bij een bedtemperatuur tussen 750 en 850 graden Celsius, vandaar dat de bedrijfstemperatuur van het wervelbed tussen de 750 en 850 graden Celsius moet liggen.

Een groot deel van de in het bed vrijkomende warmte wordt afgevoerd door in het bed geplaatste pijpenbundels. Deze warmte en de warmte welke uit de rookgassen wordt onttrokken, wordt gebruikt om het ketelwater te verdampen en om te zetten in verzadigde of oververhitte stoom.

Een groot deel van de in het bed vrijkomende warmte wordt afgevoerd door in het bed geplaatste pijpenbundels. Deze warmte en de warmte welke uit de rookgassen wordt onttrokken, wordt gebruikt om het ketelwater te verdampen en om te zetten in verzadigde of oververhitte stoom.

KIJK OP PROCESINSTALLATIES EN KENNIS VAN STORINGEN

A.M. Schaafstal

Projectgroep Bedrijfskunde PGB-TNO
Technologie Management Groep

Postbus 342
7300 AH APELDOORN

SAMENVATTING

Kennissystemen worden in het algemeen geschikt geacht voor de diagnose van storingen. In een aantal gevallen dient men er echter rekening mee te houden dat de te eliciteren kennis wel eens vanuit verschillende (vak)disciplines moet worden gehaald, en multidimensionaal kan zijn. Ook moet men er in zo'n geval rekening mee houden dat ook de kijk op het probleem verschillend kan zijn, factoren die het modelleren van de kennis voor een te ontwikkelen systeem sterk kunnen bemoeilijken.
In dit artikel wordt aandacht geschonken aan o.a. bovengenoemde problemen bij de modellering van kennis in het domein "diagnose van technische storingen". Tevens wordt de ontwikkeling van een kennissysteem in bovengenoemd domein besproken.

1. INLEIDING

Kennissystemen worden in het algemeen geschikt geacht om kennis op te slaan omtrent het diagnostiseren van storingen. De kennis van één of meerdere experts in het betreffende vakgebied wordt in zo'n geval geëliciteerd, waarna een start kan worden gemaakt met de implementatie van de kennis in het kennissysteem.
Veel diagnose problemen die momenteel worden opgelost via kennissystemen zijn qua soort vakmanschap ééndimensionaal, dat wil zeggen dat de benodigde expertise kan worden gezocht bij één functie of eventueel enige sterk verwante functies in een bedrijf. Als men bv. kennis wil eliciteren omtrent diagnose van kwaliteitsafwijkingen in het papier (dus het vinden van oorzaken en remedies voor het slechte papier), dan gaat men bij voorkeur te rade bij een expert papiermaker, en niet bij de medewerkers van de technische dienst.

2. MULTIDIMENSIONALITEIT VAN KENNIS

In de industrie zijn echter vele kennisdomeinen aan te wijzen die minder of niet ééndimensionaal te noemen zijn qua kennis die hierbij een rol speelt, en waardoor de ontwikkeling van een kennissysteem voor dit type diagnose problemen een stuk complexer wordt. Dit kan samenhangen met de wijze waarop een bedrijf haar functies en verantwoordelijkheidsgebieden indeelt, maar hangt ook samen met het gegeven dat taken vaak zo complex zijn dat aan een zeker specialisme niet valt te ontkomen. Zoals van een huisarts niet kan worden verwacht dat hij een gat in onze kiezen vult (daar is immers de tandarts voor), zo kan men ook in een bedrijf niet verwachten dat een produktiemedewerker een technisch probleem oplost (een taak van de technische dienst of afdeling onderhoud).

Een voorbeeld van een probleem dat qua kennis meerdimensionaal te noemen is, is het traject van het diagnostiseren van technische storingen aan een procesinstallatie. Gesteld kan worden dat dit traject uiteenvalt in drie stappen:

Stap 1. Een medewerker van de productie constateert dat een bepaald onderdeel van de installatie niet naar behoren functioneert. Voordat de storingsdienst (Technische Dienst/Onderhoudsdienst al naar gelang de benaming) wordt gewaarschuwd, worden door de productiemedewerkers zelf al een aantal randvoorwaarden gecontroleerd (bv. staat een bepaalde pomp niet gewoon uitgeschakeld).

Stap 2. De produktiemedewerker kan het probleem niet zelf oplossen. Een storingsmonteur wordt opgeroepen. Ook hij gaat op zijn vlak een aantal randvoorwaarden checken voordat hij een onderdeel uit elkaar gaat halen (bv. haalt de bewuste pomp wel het vereiste aantal toeren).

Stap 3. Inderdaad is geconstateerd dat een bepaald onderdeel van de installatie niet functioneert, en de vraag is of men ondanks de storing toch door kan blijven produceren.
Met andere woorden: zijn er reserveonderdelen aanwezig in de productielijn, of zijn er bypass-mogelijkheden, d.w.z. zijn er mogelijkheden aanwezig om een bepaald storend onderdeel even "over te slaan"?
De beslissing tot het maken van een bypass of het in werking stellen van een reserveonderdeel is een beslissing die niet door een discipline in afzondering genomen kan worden. Enerzijds is hier de kennis voor nodig van de Technische Dienst omtrent de aard en ernst van de storing, alsmede de exacte plaatsbepaling van de storing. Anderzijds is de afdeling Productie hierbij betrokken, aangezien zij moet bepalen wat voor gevolgen het nemen van de noodmaatregel heeft voor de productie, en überhaupt zal moeten bepalen wat voor noodvoorzieningen mogelijk zijn, gegeven de aard van het proces.

Niet vermeld in deze drie stappen, maar uiteraard wel aanwezig, zijn correcties op elk niveau. Als een oorzaak voor het probleem is gevonden, of zoals bij stap 3, uitwijkmogelijkheden aanwezig zijn, wordt een correctieve stap in gang gezet.

Uit bovenstaand voorbeeld blijken twee zaken. Ten eerste blijkt dat achter het algemene hoofd "Diagnose van Technische Storingen" een aantal verschillende kleine diagnoseprocessen plaatsvinden die elk door een andere discipline worden uitgevoerd. Ten tweede blijkt uit bovenstaand voorbeeld dat om sommige stappen (zoals stap 3) uit te voeren er intensief samengewerkt moet worden tussen verschillende disciplines, en dat elke discipline haar eigen kennis moet inbrengen.

Als men dus een kennissysteem wil ontwikkelen voor zo'n traject zal men er rekening mee moeten houden dat ook de kennis moet worden geëliciteerd van ten eerste meer dan één persoon en ten tweede dat de kennis moet worden gezocht bij meer dan één discipline.

Echter, hiermee zijn de problemen nog niet opgelost. Uit onderzoek is namelijk gebleken dat de wijze waarop iemand tegen een installatie "aankijkt" (zijn kennis heeft gerepresenteerd) zeer verschillend kan zijn per discipline. Een slager heeft bijvoorbeeld een andere kijk op een paard dan de ruiter. De slager is geïnteresseerd in de kwaliteit van het vlees, terwijl de ruiter zich meer richt op de eigenschappen die het dier tot een goed rijpaard maken. Verwacht mag dan ook worden dat hun kennis over paarden verschillend is en verschillend wordt gerepresenteerd in het geheugen.

Als we dit gegeven vertalen naar het voorbeeld uit de industrie dan blijkt het volgende. Gebaseerd op hun taakomschrijving mag verwacht worden dat produktiemedewerkers in principe naar hun installatie kijken vanuit een meer functioneel oogpunt, dan vanuit een structureel oogpunt. Voor een produktiemedewerker is het belangrijker om zich te realiseren wat de <u>functie</u> is van een bepaalde pomp in het proces (bv. de pomp die er voor dient om stof van de ene kuip in de andere kuip te verplaatsen), dan wat zijn onderdelen zijn, of de exacte plaatsbepaling van de pomp in het bedrijf (gegeven dat de pomp op afstand kan worden bediend). Een produktiemedewerker zal kennis omtrent de installatie dan ook opslaan in termen van functionele onderdelen (bv. het verpompen van een stof van de ene naar de andere locatie), en zal zijn kennis minder sterk hebben opgeslagen in termen van de exacte technische constellatie (er zijn bv. vier pompen van een bepaald type met een bepaald vermogen parallel geschakeld om het verpompen te bewerkstelligen). Voor storingsmonteurs ligt dit anders: zij bekijken de installatie voornamelijk vanuit een meer <u>structureel</u> oogpunt: waar bevinden zich onderdelen (locatie) en hoe functioneren onderdelen technisch gezien.

Het probleem ontstaat nu dat als men in dit geval een kennissysteem wil ontwikkelen men zich terdege bewust dient te zijn van dit onderscheid: men moet niet alleen meerdere disciplines in de kenniselicitatie betrekken, maar men dient zich ook te realiseren dat de diverse disciplines op een geheel andere wijze naar de installatie kijken en daarom ook op een geheel andere wijze over de installatie communiceren.

Bovenstaande samengevat kan gesteld worden dat men zich de volgende zaken moet afvragen als men een kennissysteem wil ontwikkelen voor een bepaald probleem:

- Is het probleem qua kennis ééndimensionaal. Speelt één discipline bij dit probleem een rol of moet rekening gehouden worden met meerdere disciplines.

- Als het probleem ééndimensionaal is: is alle kennis aanwezig bij één expert, of zal kennis moeten worden geëliciteerd van meerdere personen. Ook bij een eendimensionaal probleem kan de kennis gespreid zijn over diverse mensen, bv. in de situatie van volcontinu bedrijven waar in ploegendiensten wordt gewerkt en waar de informatieoverdracht van de ene ploeg op alle andere ploegen niet altijd optimaal is.

- Als het probleem qua kennis multidimensionaal is: hoe verschillend is de "kijk" van elke discipline op het probleem.

Voor kennisdomeinen die multidimensionaal zijn en waarvoor men graag een kennissysteem zou ontwikkelen (zoals in bovenstaand voorbeeld van de technische storingen), moeten bepaalde keuzes worden gemaakt over het type informatie dat het kennissysteem gaat geven aan een gebruiker. Vragen die hierbij een rol spelen zijn o.a.:

1. wie wordt/worden de eindgebruiker/eindgebruikers van het systeem: gaat het systeem door slechts één discipline gebruikt worden, of moeten meerdere disciplines ermee kunnen werken.
2. wordt het wenselijk geacht dat het systeem "grensoverschrijdend" werkt, wil men dat de verschillende disciplines van elkaars kennis kunnen leren, of wil men nu juist de verschillende soorten kennis van elkaar afschermen om de verwarring niet te groot te maken, bijvoorbeeld door de ontwikkeling van meerdere kleine systemen, voor elke discipline één.
3. Hoe kan worden bewerkstelligd dat meerdere disciplines kunnen omgaan met de informatie die het systeem geeft.

Door de Projectgroep Bedrijfskunde TNO wordt momenteel een kennissysteem voor een nederlandse papierfabrikant ontwikkeld waarin de problemen die samenhangen met de eigenschappen van multidimensionaliteit van kennis en verschillende gezichtspunten ten aanzien van hetzelfde probleem, sterk zijn vertegenwoordigd. Het kennisdomein voor het expertsysteem is "Systematische Diagnose van Technische Storingen".

3. HET KENNISDOMEIN: TECHNISCHE STORINGEN

Zoals hierboven reeds vermeld is het kennisdomein voor het te ontwikkelen kennissysteem "diagnose van technische storingen". Onder technische storingen worden storingen verstaan die te maken hebben met machine-technische afwijkingen aan de installatie in een vrij brede zin van het woord. Machine-technische afwijkingen kunnen te maken hebben met o.a. mechanisch-technische afwijkingen (bv. waaier van een

pomp afgebroken), electrotechnische problemen (bv. de motor loopt niet), dan wel afwijkingen in de diverse meet- en regelsystemen (bv. een niveaumeting geeft een foute waarde). Storingen die direct te herleiden zijn tot bv. bedieningsfouten worden dus niet tot technische storingen gerekend, tenzij zij leiden tot een machine-technisch probleem. Technisch onderhoud hoort ook niet tot het kennisdomein, alhoewel technische storingen uiteraard te maken (kunnen) hebben met de staat van onderhoud van een installatie. De tijdsduur van het oplossen van een technische storing varieert van ongeveer 15 minuten tot een aantal uren, soms dagen.

Het oplossen van technische storingen berust in veel gevallen op een samenspel tussen de afdelingen Productie en Technische Dienst. Door de produktiemedewerkers wordt de storing vaak als eerste opgemerkt, en voordat zij een storingsmonteur gaan inschakelen worden reeds een aantal handelingen verricht om een aantal randvoorwaarden te controleren of om alvast een nadere, tamelijk globale, indicatie te krijgen van de oorzaak van de storing (als bv. de oliesmering niet werkt wil de pulper ook niet starten). Als de produktiemedewerkers niet zelf de storing op kunnen lossen, zij hebben de randvoorwaarden gecontroleerd, wordt de technische dienst ingeschakeld. Ook zij gaat op haar beurt een aantal randvoorwaarden checken, die meer technisch en locaal van aard zijn (is het stuurstroomcircuit van een bepaalde pomp bv. wel in orde). Als tenslotte het probleem niet snel op te lossen is moet gekeken worden of het proces met enkele noodvoorzieningen toch door kan blijven draaien: op grond van informatie van de Technische Dienst, en in overleg met de Technische Dienst, wordt besloten tot het in werking stellen van noodvoorzieningen of het maken van een bypass.

Om te kunnen komen tot een selectie van de storingen voor het kennissysteem is in eerste instantie gesteld dat storingen die in een periode van 1 jaar, het afgelopen jaar, hebben geleid tot productieverliezen of -vertragingen in het systeem zouden moeten worden opgenomen. In latere instantie zijn deze storingen gecomplementeerd met een aantal andere, door de medewerkers zelf gegenereerde, afwijkingen per onderdeel.

4. ANALYSE VAN DE KENNIS

De kenniselicitatie heeft plaatsgevonden met meerdere experts, afkomstig uit de verschillende technische afdelingen en de afdeling Productie. Onafhankelijk van elkaar heeft elke afdeling de diverse onderdelen van de installatie geanalyseerd voor wat betreft mogelijke storingen, oorzaken voor die storingen en hoe men kan analyseren welke oorzaak zich op een bepaald moment voordoet. Dit heeft vier verschillende gezichtspunten opgeleverd op onderdelen van de installatie en hun storingen.

Een interessant aspect van dit project bestaat uit de integratie van deze verschillende gezichtspunten. In een aantal gevallen kan deze integratie moeiteloos plaatsvinden: als de afdeling Electrotechniek een bepaalde kuip Mab Pod noemt terwijl de Productie het heeft over K38 dan kan dat eenvoudig worden opgelost door beide namen naast elkaar te vermelden. Als verschillende afdelingen echter andere

"denkprimitieven" hanteren ligt het probleem minder eenvoudig. Als bv. de afdeling Productie het heeft over een bypass voor K38 dan is er op zich niet iets aan de hand met K38, maar dan bestaat een storing aan de pomp van K38. In dit geval gelden de pomp van K38 en K38 zelf als één geheel wat ook als zodanig behandeld dient te worden. De mechanisch-technische dienst kijkt hier anders tegenaan: als een monteur uit deze afdeling het in het kader van diagnose van storingen heeft over K38 dan bedoelt hij het roerwerk van K38 want dat is het enige onderdeel van K38 waar mechanisch technisch een storing aan kan komen. De pomp van K38 is voor deze afdeling weer een hoofdstuk apart. Voor de afdeling electrotechniek is K38 op zich niet interessant, monteurs van deze afdeling praten over de motoren van het roerwerk van K38, en over de motor van de pomp. Op deze wijze heeft ook de afdeling instrumentatie haar eigen primitieven die worden gebruikt aangaande K38, nl. wat voor metingen en regelingen kunnen worden onderscheiden aan K38.

Daarnaast speelt bij de analyse van kennis omtrent de diagnose van technische storingen een schaalprobleem: moet elke storing die zich voordoet als uniek worden beschouwd of zijn er overeenkomsten tussen bepaalde storingen. Moet bv. het uitvallen van de pomp van K38 op dezelfde wijze worden behandeld als het uitvallen van de pomp van K48, of kan worden gesproken over identieke situaties. Als het inderdaad zo zou zijn dat elke storing compleet uniek is dan zou het maken van een kennissysteem nagenoeg onbegonnen werk zijn vanwege de enorme omvang van het aantal mogelijke storingen. Uit de kenniselicitatie is gebleken dat voor delen van de analyse van technische storingen inderdaad een generieke analyse kan worden opgesteld, gegeven bepaalde uitgangspunten (bv. hetzelfde type). Voor andere delen van de analyse, bv. het maken van een bypass, kan dit echter niet. In dit geval is informatie over de functie en exacte plaats in het bedrijf van groot belang en zal dus ieder onderdeel als uniek moeten worden beschouwd en overeenkomstig geanalyseerd. In het geval van bypasses hebben we echter te maken met bepaalde complexen van onderdelen, zodat de te verzamelen kennis op dit gebied weliswaar omvangrijk en complex, doch te overzien is.

5. SYSTEEMONTWIKKELING

Zoals in de vorige paragraaf reeds aangegeven, is de kennis die een rol speelt complex en veelzijdig. Om voor de verschillende onderdelen van het systeem dan ook de juiste termen of "primitieven" te kunnen gebruiken is eerst de kennis per module nagenoeg in zijn geheel geëliciteerd voordat tot implementatie is overgegaan.

Het kennissysteem bestaat uit 3 modules, overeenkomstig de stappen die gezet kunnen worden tijdens de oplossing van een technische storing, te weten

- Randvoorwaarden productie
- Randvoorwaarden techniek
- Bypasses en noodvoorzieningen

Begonnen is met de analyse van bypasses en noodvoorzieningen. De belangrijkste reden hiervoor is het gegeven dat om kennis omtrent

bypasses te kunnen implementeren een sterk beroep moet worden gedaan op de grafische interface van het systeem, in casu de representatie van de procesflow op het beeldscherm. Omdat de grafische representatie van de procesflow tevens de "ingang" vormt tot het systeem is dit deel het eerst geïmplementeerd. Vervolgens is verder gegaan met de implementatie van de overige twee modules.

Het systeem is ontwikkeld in Personal Consultant Plus 3.0 tesamen met Personal Consultant Images hetgeen ertoe heeft geleid dat bepaalde delen van de gebruikte plaatjes "aanklikbaar" zijn geworden. Dit heeft geleid tot een interface die de eindgebruikers sterk aanspreekt.

Het systeem is in delen operationeel geworden, te beginnen met de module bypasses en noodvoorzieningen. In deze periode is het systeem hoofdzakelijk geraadpleegd door medewerkers van de afdeling Productie die in vijf ploegen werken. Elke ploeg heeft persoonlijk instructie ontvangen omtrent de bediening van het systeem, maar na de derde ploeg bleek al ras dat de ploegen onderling elkaar al hadden opgeleid zodat daar eigenlijk verder niemand aan te pas hoefde te komen.

Het complete systeem waarin alle drie modules zijn geïmplementeerd is een systeem geworden dat door mensen van verschillende disciplines en afdelingen gebruikt kan worden. Er is voor gekozen om het systeem "grensoverschrijdend" te maken (zie paragraaf 1): elke gebruiker heeft toegang tot alle kennis en informatie die het systeem bevat. Aan de andere kant is ervoor gezorgd dat de verschillende gezichtspunten duidelijk zichtbaar zijn gebleven. Dit speelt met name een rol bij de module "randvoorwaarden techniek" waarin een onderscheid wordt gemaakt tussen de verschillende mogelijke invalshoeken: mechanisch technisch, electrotechnisch, en instrumentatietechnisch.

Momenteel bevindt het project zich in een afrondingsfase. Het systeem is geïntroduceerd bij de diverse afdelingen in het bedrijf en goed, doch kritisch ontvangen. Een aantal opmerkingen, voortvloeiend uit het gebruik, heeft ertoe geleid dat deels een andere opzet is gemaakt voor het systeem, zodat het systeem minder stappen nodig heeft om tot een conclusie te komen. Getracht is echter om de flexibiliteit van het systeem zoveel mogelijk te behouden, zeker gegeven het feit dat veel verschillende mensen met ieder hun eigen informatiebehoefte met het systeem moeten werken in de praktijk. Achtergrondinformatie over het proces die niet direct kritisch is voor een ervaren medewerker op een bepaald terrein is zoveel mogelijk verschoven naar het "hulp en uitleg" gedeelte van het systeem.

Uiteraard hebben zich vele discussies afgespeeld over de inhoudelijke kant van het systeem, maar deze discussies hebben het systeem sterk verbeterd en hebben de acceptatie van het systeem in het bedrijf bevorderd. Als een van de positieve punten van het systeem wordt juist het grensoverschrijdende aspect genoemd: men krijgt via dit systeem toegang tot informatie die men van te voren nooit heeft gehad, en daarmee ook meer inzicht in het werk van de andere afdelingen.

Hoewel nog niet definitief afgerond, blijkt het systeem levensvatbaar te zijn en momenteel buigt het bedrijf zich over de vraag hoe het systeem zal worden onderhouden in de toekomst.

FELIX: EEN INTELLIGENT COMPUTER ONDERSTEUND ONDERWIJS SYSTEEM

J. Bruin
M. de Niet

Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO

Postbus 96864
2509 JGK 's-Gravenhage

SAMENVATTING

Momenteel voert het Fysisch en Elektronisch Laboratorium TNO (FEL-TNO), tezamen met Logica BV, een technologieproject uit op het gebied van Intelligent Computer Ondersteund Onderwijs.
De doelstelling van dit project is het onderzoeken van de toepasbaarheid en bruikbaarheid van ICOO voor krijgsmachttoepassingen en het opdoen van ervaring met de technologie.
Hiervoor wordt een demonstratiesysteem, FELIX, ontwikkeld waarin een leerdomein wordt geïmplementeerd. Bij deze 'demonstrator', het product van het onderzoek, wordt ernaar gestreefd om een raamwerk te ontwikkelen, dat zoveel mogelijk onafhankelijk is van het onderhavige leerdomein.

1. INLEIDING

Door de invoering van geavanceerde en complexe systemen, zowel voor operationeel als voor ondersteunend gebruik, worden nieuwe eisen gesteld aan opleidingen bij de krijgsmacht. De dynamiek van de technologische ontwikkelingen is zodanig dat zowel opleidingen als leerlingen (bv. dienstplichtigen) aan snelle veranderingen onderhevig zijn. De instructeur zelf moet zijn eigen kennis bijschaven en de leerstof aanpassen, en er is ook een toenemende behoefte aan de mogelijkheid om het leerplan per individu te kunnen aanpassen. De traditionele vorm van onderwijs is belastend voor de instructeur; ook is het nadelig voor de organisatie omdat capaciteiten minder efficiënt worden benut.
Met ontwikkelingen in de informatie technologie is er een sterke belangstelling ontstaan voor computer ondersteund onderwijs (COO). COO is met name economisch interessant vanwege de reproduceerbaarheid en de beschikbaarheid van de 'instructeur' (het COO-programma) op elk gewenst moment voor een individuele leerling.

Een COO-systeem heeft echter een aantal belangrijke nadelen:

- De dialoog tussen systeem en leerling wordt vooraf vastgelegd en is statisch;
- Het systeem verwerft geen inzicht in wat de leerling echt begrepen heeft;
- Het systeem is ontworpen voor een standaard leerling en te weinig afgestemd op het individu.

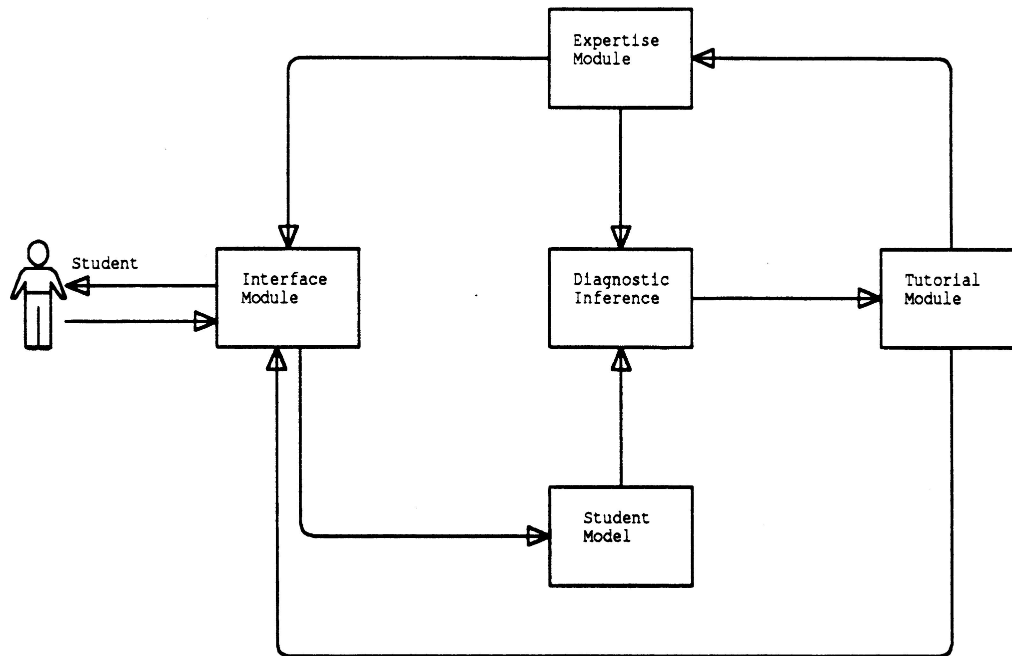
Een intelligent computer onderwijs (ICOO) systeem wordt gerealiseerd m.b.v. AI-technieken en methodologieën. Met deze technieken kan de kennis van een ervaren instructeur expliciet worden vastgelegd in een computerprogramma, tezamen met de wijze(n) waarop deze kennis wordt gehanteerd. De kennis (in het algemeen bestaande uit feiten en relaties hiertussen) heeft betrekking op het leerdomein, de leerling en het leerproces. Het toepassen van AI-technologie binnen een ICOO-raamwerk kan de genoemde nadelen van COO sterk reduceren. Dit betreft dan voornamelijk het vergroten van de flexibliteit en het individuele karakter van het onderwijs.
De toepassing van AI-technologie in COO is momenteel uitgegroeid tot een belangrijk gebied van onderzoek. Hierbij staat de vraag centraal in hoeverre en op welke wijze de beoogde voordelen te realiseren zijn. Ook het project FELIX richt zich op deze vraag, waarbij tevens de praktische toepassing niet uit het oog wordt verloren.

2. INTELLIGENT COMPUTER ONDERSTEUND ONDERWIJS

Het ICOO-systeem FELIX is een expertsysteem dat onderwijzende capaciteiten heeft. Het systeem dient zowel de domeinkennis (begrippen) te kennen als de wijze waarop deze kennis gebruikt kan worden. Dat is nodig om FELIX als een expert over te laten komen bij de student. Hiervoor dient een ICOO-systeem over mechanismen te beschikken voor het analyseren van kennis en responsen van een student en voor het genereren van een dialoog. De meeste van de tot nu toe gerealiseerde systemen zijn het resultaat van onderzoeksprojecten met het doel om de richting van toekomstig AI-onderzoek te bepalen en toepassingsmogelijkheden van AI-technologie te laten zien.

FELIX bestaat, conform de gangbare ICOO-systeemarchitectuur [Sleeman & Brown, 1982; Kawai e.a., 1986; Park e.a., 1987], uit de volgende functionele componenten:

- een expertise module;
- een student model;
- een tutorial module;
- een interface module.



De Expertise Module bestaat uit de domeinkennis die het systeem de student beoogt te leren. Deze kennis kan bestaan uit zowel declaratieve als procedurele kennis. Procedurele kennis omvat de vaardigheid om procedures correct uit te voeren. Declaratieve kennis bestaat uit theorie en begripskennis (feiten en relaties).
De inhoud, opgeslagen in een kennisbestand, wordt gebruikt om problemen en uitleg te genereren, om problemen op te lossen (m.b.v. de geautomatiseerde expert) en om de prestaties van de student te evalueren.

Het Student Model representeert het begrip dat de student heeft van de te leren kennis m.b.v. de huidige staat van kennis, fouten/misvattingen en gegevens betreffende de leergeschiedenis. De informatie opgeslagen in het Student Model wordt gebruikt om de leerbehoefte te bepalen volgens diagnostische regels; ook wordt de instructievorm bepaald op basis van deze gegevens.

De Tutorial Module specificeert op welke wijze en wanneer het systeem bepaalde lesstof presenteert aan de student. De onderwijsstrategieën in de huidige COO-systemen zijn erg domein-specifiek en hanteren en corrigeren niet alle problemen van een student (de student heeft een beperkte kennis, foute kennis, gebruikt verkeerde kennis, of maakt een verkeerd gebruik van kennis). Een ICOO-systeem kan een bestand met verscheidene instructie-strategieën bevatten waar het systeem een keuze uit maakt. Tevens bevat deze module regels die, op basis van het Student Model, bepaalt welke informatie op welke wijze gepresenteerd moet worden.

De Interface Module is belast met de communicatie tussen het systeem en de student. Door de module worden instructieve presentaties (b.v. scherm-afbeeldingen, video, enz.) gegenereerd en wordt de invoer van de student (b.v. antwoorden en vragen) vertaald naar een voor het systeem begrijpelijke 'taal'.
Het is echter niet noodzakelijk dat het systeem over capaciteiten beschikt om te communiceren met de gebruiker in een volledig vrije en natuurlijke vorm. Werk van anderen op het terrein van ICOO heeft te veel de aandacht gericht op een volledig natuurlijke taal verwerking en te weinig op de ICOO-kenmerken. Hierdoor ontstaat het verkeerde beeld dat het practisch en kosten-effektief toepassen van ICOO niet mogelijk zou zijn.
FELIX bevat geen volledige natuurlijke taal interface, maar wel een intelligente dialoog, die bepaald wordt door de context, om een zo effectief mogelijke kennisoverdracht te realiseren.

3. LEERDOMEIN VAN FELIX

Voor dit technologieproject was het van belang om een leerdomein te selecteren dat de mogelijkheden biedt om de voordelen van ICOO te demonstreren.
Gekozen is voor het domein 'berichtenverwerking'. De leerdoelstelling voor dit domein is het foutloos kunnen afhandelen van de procedures rond berichtenverwerking (o.m. controleren, sorteren, registreren en bewerken voor verzending).
Ter illustratie is hieronder het berichtenformulier weergegeven, zoals dit gepresenteerd wordt door FELIX.

Dit omvat een tweetal afgeleide doelen, te weten:

- het aanleren van vaardigheden;
- het aanleren van begripsvormende kennis.

Het domein omvat zodoende zowel procedurele als declaratieve componenten.

Er is bij deze keuze van het leerdomein naar gestreefd rekening te houden met het beleid van de opdrachtgever (Koninklijke Landmacht) betreffende opleidingen in het algemeen en COO in het bijzonder. Voor dit domein is bovendien een COO-systeem in ontwikkeling, zodat na afronding van dit project een vergelijking mogelijk is tussen een COO- en een ICOO-oplossing voor dit opleidingsprobleem.

4. ONTWIKKELING DEMONSTRATIESYSTEEM

Het project is in zijn geheel onderverdeeld in een viertal fasen, te weten:

1. definitiestudie;
2. globaal ontwerp;
3. ontwikkeling ICOO-demonstrator;
4. evaluatie demonstrator.

Vanuit het oogpunt van de kwaliteitszorg worden in al deze fasen zoveel mogelijk formele methoden en technieken, met ondersteunende tools, toegepast.

Voor het realiseren van een AI-systeem zijn methoden en technieken en hulpmiddelen nog niet voldoende uitgewerkt, terwijl voor het ontwikkelen van een ICOO-systeem nauwelijks methodieken en hulpmiddelen voorhanden zijn.
Op dit ogenblik zijn er wel algemene gereedschappen beschikbaar vanuit de software engineering. Een aantal hiervan wordt toegepast. In het AI-onderzoek zijn een aantal specifieke hulpmiddelen ontwikkeld, zoals bijvoorbeeld Expert System-shells.
Voorzichtigheid is geboden bij gebruik van dergelijke specifieke hulpmiddelen. Expert System-shells zijn in het algemeen te beperkt in functionaliteit. Enkele vooruitstrevende AI-ontwikkelomgevingen bieden meer mogelijkheden, maar zowel de Expert System-shells als de AI-ontwikkelomgevingen zijn geen ICOO-shells wegens het ontbreken van strategieën voor onderwijs en voor dialoogvoering. Tevens beperken deze hulpmiddelen i.h.a. de gewenste portabiliteit en brede inzetbaarheid. Voor het te ontwikkelen ICOO-systeem wordt gebruik gemaakt van Prolog. Deze moderne AI-taal biedt voldoende flexibiliteit en ondersteuning om de demonstrator te ontwikkelen. Een ander voordeel van Prolog is, dat deze taal geïmplementeerd is op een uitgebreide reeks van computersystemen van PC tot de grote systemen. Zo ook op de workstations (met uitgebreide grafische mogelijkheden), waarop de ontwikkeling van het demonstratie-systeem plaatsvindt.

REFERENTIES

[1] Sleeman, D.H. & Brown, J.S. (1982). Intelligent Tutoring

Systems.
[2] Kawai, K., Mizoguchi, R., Kakusho, O. & Toyoda, J. (1986). A Framework for ICAI Systems Based on Inductive Inference and Logic Programming. Proceedings of the Third International Conference on Logic Programming.

[3] Park, O. & Seidel, R.J. (1987). Design of ICAI: AI techniques and instructional principles.

ESOVOS:
EXPERT SYSTEEM TER ONDERSTEUNING VAN HET VOORONTWERPEN VAN SCHEPEN

A. Bos

Instituut voor Toegepaste Informatica (ITI-TNO)

Postbus 214
2600 AE Delft

SAMENVATTING

Dit artikel beschrijft een software-systeem dat een scheepsontwerper ondersteunt. Centraal in deze beschrijving staat het zogenaamde specialistenmodel. In dit model wordt een aantal activiteiten van de ontwerper uitgevoerd door specialisten. Door deze specialisten in een software-systeem te implementeren is het mogelijk de ontwerper te ondersteunen. In dit artikel wordt, naast het specialisten-model, het ontwerpproces van een scheepsontwerper en de implementatie van het specialistenmodel gepresenteerd.

1. INLEIDING

De ontwikkeling van expert-systemen ter ondersteuning van ontwerpprocessen staat momenteel sterk in de belangstelling.
Het Instituut voor Toegepaste Informatica van TNO (ITI-TNO) heeft in samenwerking met het Instituut voor WErktuigbouwkundige COnstructies (IWECO-TNO) een dergelijk systeem (ESOVOS) ontwikkeld.

ESOVOS is een acroniem van: Expert Systeem ter Ondersteuning van het VoorOntwerpen van Schepen. ESOVOS is een demonstratiesysteem dat het voorontwerp van een scheepsmidsectie (het middenstuk van een schip) ondersteunt. Het voorontwerp is minder gedetailleerd dan het eigenlijke ontwerp en wordt gebruikt bij het opstellen van een offerte.
De scheepsontwerper gaat uit van een aantal bekende parameters zoals lengte van het schip, goederen die vervoerd moeten worden, etc.. Aan de hand van deze parameters worden plaatdiktes en profielafmetingen bepaald, zodanig dat het schip voldoende sterk is. Hiervoor hanteert de ontwerper regels van een klassebureau. Een klassebureau is een keurende instantie die bepaalt of een scheepsontwerp voldoende veilig is.
Het is nu zaak het schip zo zuinig mogelijk te ontwerpen, zonder dat de regels van het klassebureau worden overschreden. De moeilijkheid

bij dit proces is dat de ontwerper slecht kan overzien of zijn ontwerp zal voldoen aan de eisen van het klassebureau.
Het ESOVOS-systeem ondersteunt de ontwerper door in een vroeg stadium aan te geven of aan de eisen van het klassebureau zal worden voldaan.

Dit artikel beschrijft de verschillende stappen die hebben geleid tot een software-systeem dat de ontwerper kan ondersteunen. Als eerste moet het duidelijk zijn hoe het ontwerpproces verloopt. Uit deze beschrijving van het ontwerpproces volgt welke taken van de ontwerper ondersteuning behoeven. Vervolgens wordt het ontwerp van een software-systeem gegeven waarin duidelijk wordt gemaakt hoe die taken kunnen worden verlicht. Als laatste wordt de implementatie in een object georiënteerde taal behandeld.

2. ONTWERPPROCES

Ontwerpen wordt in het algemeen beschouwd als een creatief proces dat moeilijk is te vervangen door een computerprogramma. In de eerste paragraaf wordt uitgelegd welke eigenschappen van het ontwerpproces dit veroorzaken. Door het ontwerpproces te vereenvoudigen is het mogelijk het ontwerpproces op een gestructureerde wijze te beschrijven. Het is dan wèl mogelijk om de taken van de ontwerper met een software-systeem te ondersteunen.
De tweede paragraaf geeft het vereenvoudigde ontwerpproces van een scheepsontwerper weer. Door deze beschrijving is het mogelijk die activiteiten van de ontwerper te selecteren die door het software-systeem kunnen worden uitgevoerd. We zullen die activiteiten in hoofdstuk 2 presenteren.

2.1 Ontwerpen

Het ontwerpproces wordt in het algemeen beschouwd als een slecht gestructureerd proces [Simon, 1973]. Het mist een aantal eigenschappen waardoor het moeilijk kan worden geautomatiseerd.

Als eerste is het niet mogelijk om een welomschreven criterium, of combinatie van criteria, te geven waaraan de ontwerper het uiteindelijke ontwerp kan toetsen. Het ontwerp van bijvoorbeeld een scheeps-midsectie zal uiteindelijk moeten voldoen aan onder andere mechanische criteria (het ontwerp moet sterk genoeg zijn), en aan functionele criteria (het ontwerp moet voldoende lading kunnen vervoeren). Daarnaast moet het ontwerp aan minder goed te kwantificeren criteria voldoen, zoals logistieke (bouwmaterialen moeten voorradig zijn), economische (schip moet eenvoudig te fabriceren zijn), etc.. Als de ontwerper een ontwerpbeslissing neemt, dan zal het resultaat aan één of meer van deze criteria moeten voldoen. Het is vaak niet mogelijk om aan te geven welke overwegingen een rol spelen bij een ontwerpbeslissing.

Een ontwerper bezit bovendien vele vrijheidsgraden om tot een uiteindelijk ontwerp te komen. Dit komt onder andere tot uitdrukking in de keuze die de ontwerper heeft in de te gebruiken bouwmaterialen, constructievormen en verbindingen. Het is ondoenlijk om alle mogelijkheden binnen één vrijheidsgraad op te sommen: de ontwerper kan namelijk zelf nieuwe mogelijkheden (bijvoorbeeld een nieuwe construc-

tievorm) toevoegen. Het gevolg is dat de probleemruimte in principe oneindig groot is.

Bovenstaande eigenschappen van het ontwerpproces maken het moeilijk om computerprogramma's te ontwikkelen die zelf creatief kunnen ontwerpen.

Gelukkig blijkt dat een groot gedeelte van het ontwerpproces volgens een aantal standaard-strategieën wordt uitgevoerd [Simon, 1973], [Brown, 1986]. De ontwerper zal namelijk zo veel mogelijk proberen de probleemruimte te verkleinen en het aantal testcriteria tot één of twee te reduceren.
In het geval van het ontwerp van de midsectie verkleint de ontwerper de probleemruimte door een beperkt aantal materialen, constructievormen en verbindingen te gebruiken. De constructie van de midsectie heeft een vaste vorm en bestaat altijd uit een dek, zijwand en dubbele bodem.
Verder zal de ontwerper het aantal criteria waaraan het ontwerp wordt getoetst beperken. Als criterium selecteert de scheepsontwerper de mechanische eisen die staan beschreven in de regels van het klasse-bureau.
Het gevolg van deze beperkingen (vaste vorm van de midsectie, en als criterium de mechanische eisen) is dat we nu wel in staat zijn om een aantal taken van de ontwerper door een computerprogramma over te laten nemen.

2.2 Werkwijze scheepsontwerper

De ontwerper moet een midsectie realiseren met als randvoorwaarde dat het uiteindelijke produkt mechanisch voldoende sterk is. In de regels van een klassebureau staat een aantal van de mechanische eisen beschreven. Deze gekwantificeerde eisen hebben onder andere betrekking op:
- de vloeisterkte:
  de constructie mag niet te zwaar belast worden, omdat anders de constructie plastisch vervormt;
- de kniksterkte:
  op de constructie mag niet een te zware druk uitgeoefend worden, omdat anders de constructie zal uitknikken;
- het moment van traagheid:
  het moment van traagheid moet de juiste grootte hebben om redenen van stabiliteit.

De ontwerper moet zich afvragen hoe de vereiste sterkte van de midsectie kan worden bereikt. De midsectie is sterk genoeg als de onderdelen van de midsectie (dek, zij-wand, en dubbele bodem) voldoende sterk zijn. De ontwerper splitst het probleem van het ontwerpen van een midsectie op in een drietal subproblemen, namelijk het ontwerp van dek, zij-wand en dubbele bodem. De ontwerper zal elk subprobleem onafhankelijk van de andere proberen op te lossen. Na de afzonderlijke delen te hebben samengevoegd, moet de ontwerper controleren of het uiteindelijke resultaat ook aan de mechanische criteria voldoet.

Bij het opsplitsen van de midsectie neemt de ontwerper een aantal beslissingen. De ontwerper zal bijvoorbeeld de basisafmetingen (lengte, breedte, e.d) van de drie subconstructiedelen vaststellen.

Deze afmetingen zullen zo bepaald worden dat de ontwerper er vertrouwen in heeft dat, gegeven deze afmetingen, de constructiedelen aan de mechanische sterkte-criteria kunnen voldoen.

Het proces van de constructie opdelen volgens de fysieke structuur kan worden herhaald tot een constructiedeel is verkregen waarvoor een methode bekend is om de afmetingen te berekenen waarbij voldaan wordt aan de sterkte-eisen. Een dergelijk constructiedeel is in het algemeen een plaat of profiel. Een methode om de afmetingen te berekenen staat òf beschreven in de regels van een klassebureau, òf volgt uit mechanische principes.
Voor de berekening van de afmetingen van een subconstructiedeel moet de ontwerper zich houden aan de basisafmetingen die zijn vastgesteld tijdens het opdelen van het probleem.

Het kan natuurlijk voorkomen dat een plaat of profiel niet aan de criteria kan voldoen, of dat voor de afmetingen absurde waarden moeten worden gekozen. De basisafmetingen zijn dan door de ontwerper verkeerd gekozen.
Ook kan het voorkomen dat een samengestelde constructie (samenvoegen van de deeloplossing van een probleem) niet aan een criterium voldoet. De ontwerper zal nu òf de basisafmetingen moeten veranderen, òf het probleem anders moeten opsplitsen.

Resumerend kunnen we het ontwerpproces van de scheepsmidsectie als volgt beschouwen:

1. Het probleem van het ontwerp van de midsectie wordt opgedeeld in subproblemen. Elk subprobleem komt overeen met het ontwerp van een substructuur.
2. Elk (sub)probleem wordt onafhankelijk opgelost. Als criterium geldt dat het uiteindelijke deelontwerp voldoet aan de mechanische criteria.
3. De oplossing van alle deelproblemen te samen moet ook aan de mechanische criteria voldoen.

3. SPECIALISTENMODEL

In dit hoofdstuk wordt als eerste aangegeven welke taken van de ontwerper ondersteund kunnen worden. Vervolgens wordt een model (specialistenmodel) gepresenteerd dat de basis vormt van het uiteindelijke ontwerpsysteem [Brown, 1986], [Mittal, 1986]. Getracht is om dit model zo veel mogelijk te laten aansluiten bij het ontwerpproces.

3.1 Ondersteuning van de ontwerper

Zoals we in het vorige hoofdstuk hebben gezien splitst de ontwerper het probleem van de midsectie op in subproblemen. Elk subprobleem komt overeen met het ontwerpen van een substructuur, zoals dek, zij-wand of dubbele bodem.
De ontwerper neemt telkens een aantal beslissingen met als overweging dat het uiteindelijke resultaat voldoende sterk moet zijn. De berekeningen die nodig zijn om de mechanische criteria te toetsen zijn voor de ontwerper ingewikkeld en tijdrovend. Het is mogelijk om de toetsing van een ontwerp over te laten aan een specialist op het gebied van het berekenen van de mechanische criteria. Een dergelijke specialist hoeft

alleen te weten hoe voor het betreffende subprobleem de berekening moet worden uitgevoerd, en kan het resultaat van een dergelijke berekening direct aan de ontwerper meedelen. De ontwerper kan zich nu volledig concentreren op het nemen van een ontwerpbeslissing.

In het model dat de basis vormt van het ontwerpsysteem werken we dit idee verder uit. Voor elk subprobleem wordt een aparte 'specialist' gedefinieerd waaraan de ontwerper raad kan vragen.

3.2 Uitwerking specialistenmodel

Voor elk subprobleem dat de ontwerper moet oplossen wordt in het ontwerpsysteem een specialist gedefinieerd. Een specialist is een speciaal soort agent (mens of machine) met kennis over het subprobleem. Zo is er een specialist met kennis over het ontwerp van de dubbele bodem, zij-wand of dek. Voor elke fysieke substructuur van de midsectie is er een corresponderende specialist met kennis over die substructuur.
Om de berekening van de mechanische criteria mogelijk te maken bezit elke specialist een aantal methoden (fig. 1). Een methode is een implementatie van een deel van de kennis over het subprobleem. Deze methoden stellen de ontwerper en de andere specialisten in staat om een vraag aan een specialist te stellen. Als een specialist een vraag krijgt toegespeeld, in de vorm van een aanroep van een methode, dan zal de specialist de vraag beantwoorden door de methode uit te voeren. Methoden kunnen onder andere betrekking hebben op de toetsing van de mechanische criteria, en op de fysieke structuur (lengte, breedte, e.d.) die voor de toetsing van de mechanische criteria van belang zijn.

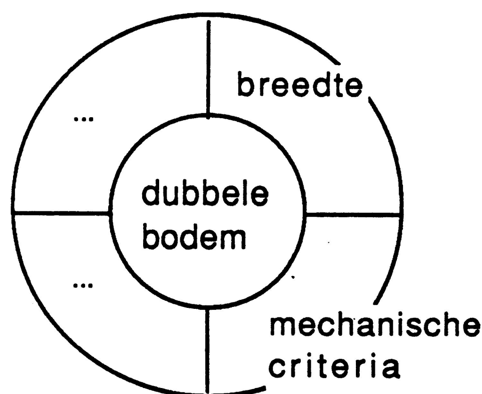


fig. 1 dubbele bodem-specialist

Voor het beantwoorden van de vragen die aan de specialist gesteld worden hebben de specialisten gegevens van andere substructuren nodig. Met andere woorden: de specialisten moeten met elkaar samenwerken. De specialisten werken met elkaar samen volgens een hiërarchische ordening. Deze ordening komt overeen met de opsplitsing in substructuren van de midsectie (fig. 2).

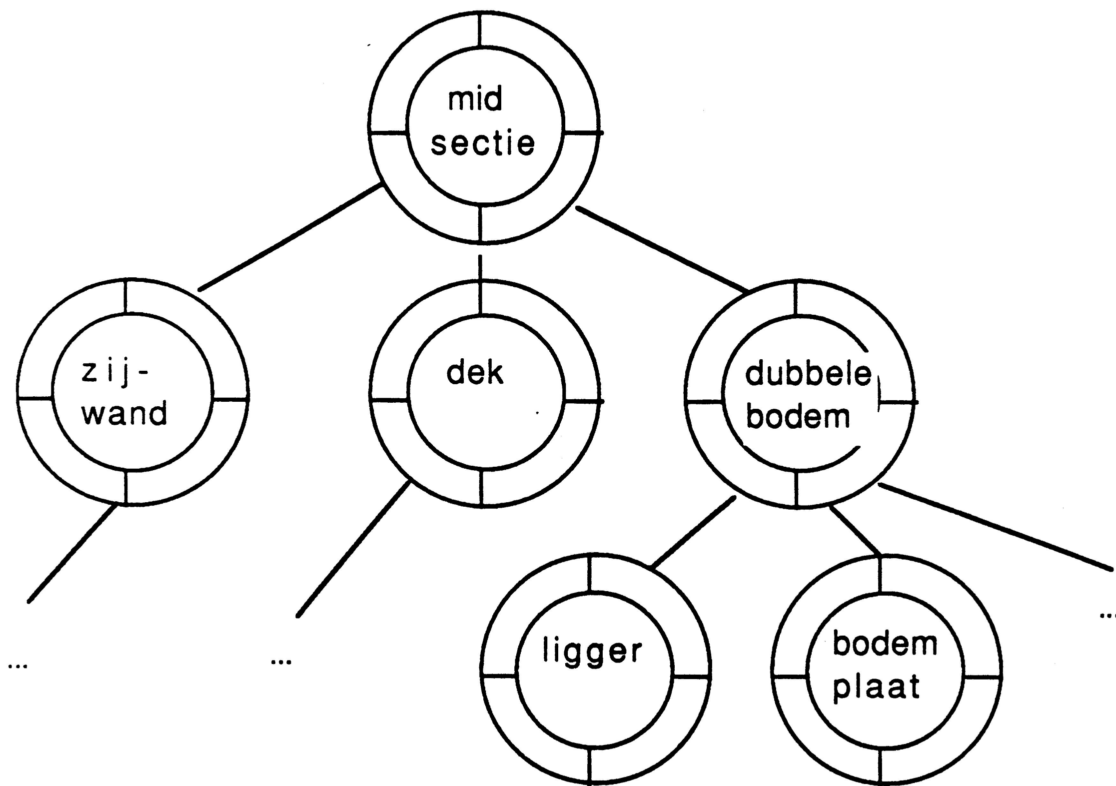


fig. 2 hiërarchie specialisten

Bijvoorbeeld, voor de berekening van de breedte van een bodemplaat moet de bodemplaat-specialist onder andere de breedte van de dubbele bodem weten (fig. 3). Via de aanroep van de juiste methode vraagt de bodemplaat-specialist de breedte van de dubbele bodem. De dubbele bodem-specialist zal aan de aanvrager (bodemplaat-specialist) de gevraagde waarde retourneren.

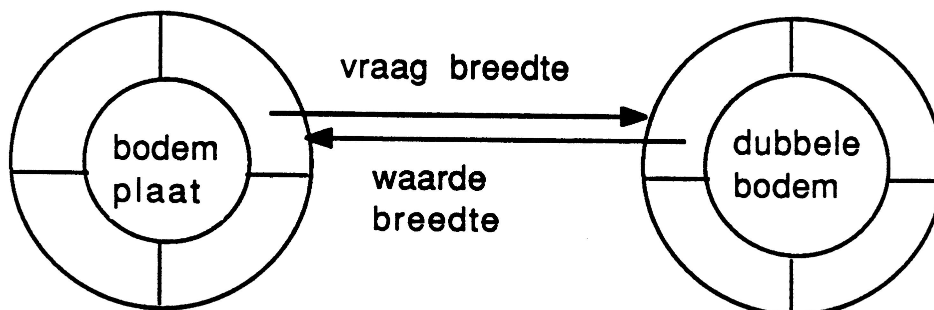


fig. 3 communicatie specialisten.

De ontwerper communiceert met een specialist op dezelfde wijze (via de methoden) als specialisten onderling communiceren. Communicatie binnen het specialistenmodel wordt overal op dezelfde manier afgehandeld, onafhankelijk van wie met wie communiceert.

Aan de hand van dit specialistenmodel en de beschrijving van het ontwerpproces, kunnen de verschillende methoden worden gedefinieerd.

We zullen nu in een voorbeeld aangeven hoe een methode van een specialist kan worden beschreven.
We beschouwen de bodemplaat-specialist met als methode de berekening van de breedte van de bodemplaat (fig. 4). De breedte van de bodemplaat wordt gebruikt bij het controleren van verschillende mechanische criteria.

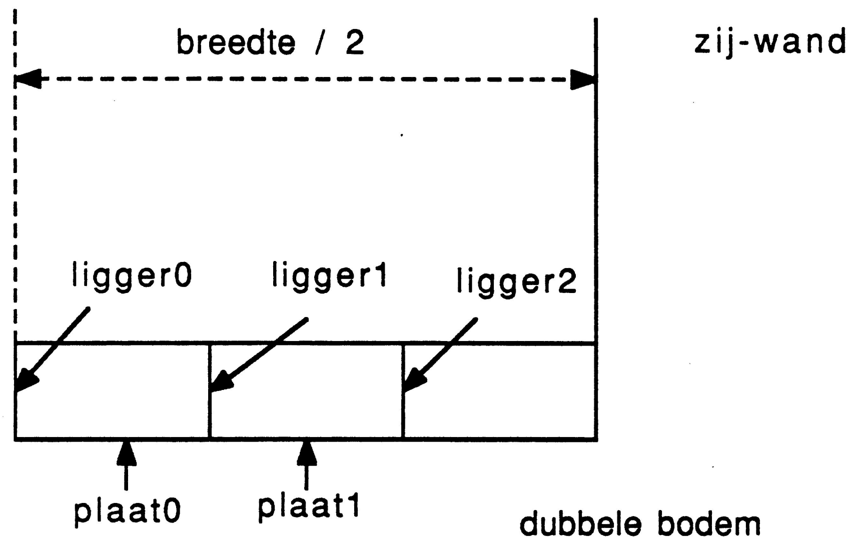


fig. 4 berekening breedte bodemplaat

We nemen aan dat de dubbele bodem-specialist de volgende methoden bezit:

- LiggerDim;
  geeft als antwoord het aantal liggers (dimensie) in de dubbele bodem;
- LiggerPos[i];
  geeft als antwoord de positie van ligger nr. i;
- Breedte;
  geeft als antwoord de breedte van de dubbele bodem.

Een methode wordt als volgt aangeroepen (db is naam van de dubbele bodem-specialist):

```
db.Breedte
```

Het resultaat zal de breedte van de dubbele bodem zijn.

We definiëren nu voor elke specialist van bodemplaat 'i' een methode die de breedte van een plaat berekent (fig. 4):

```
bodemplaat[i].Breedte =
      db.LiggerPos[i+1] - db.LiggerPos[i]
         if i < db.LiggerDim    //bodemplaat grenst niet aan de zij

      (db.Breedte / 2) - db.LiggerPos[i]
         if i = db.LiggerDim    //bodemplaat grenst aan de zij
```

Voor elke vraag die de specialist moet kunnen beantwoorden wordt een methode gedefinieerd.

4. IMPLEMENTATIE

In het vorige hoofdstuk hebben we beschreven hoe de ontwerper ondersteund kan worden bij het ontwerp van de midsectie van een schip. Voor elk constructiedeel dat ontworpen moet worden is een specialist gedefinieerd die voor elke ontwerpbeslissing de invloed op de mechanische eigenschappen van de constructie kan berekenen.
Voor de implementatie van het specialistenmodel hebben we gekozen voor een object georiënteerde taal (C++ [Stroustrup, 1986]). Object georiënteerd programmeren sluit nauw aan bij het idee van het specialistenmodel. In dit hoofdstuk beschrijven we die eigenschappen van een object georioriënteerde taal waardoor het specialistenmodel op een relatief eenvoudige wijze kan worden geïmplementeerd.

4.1 Object georiënteerd programmeren

Een belangrijk concept binnen het object geörienteerd programmeren is het object [Micallef, 1988]. Een object kan worden beschouwd als een virtuele machine met een aantal operaties ('methods') en een aantal toestanden waarin de virtuele machine zich kan bevinden. De virtuele machine kan in een andere toestand komen door het uitvoeren van een operatie.
Een operatie wordt gestart door een 'message' naar een object te sturen. Het ontvangende object decodeert de 'message' en voert de operatie behorende bij de 'message' uit. In het algemeen zullen de operaties van een object worden geïmplementeerd met behulp van andere objecten (virtuele machines). Op deze wijze kan een systeem op een consistente wijze worden opgebouwd. Een virtuele machine gebruikt andere virtuele machines om tot het gewenst gedrag te komen.

Een object wordt gedefinieerd door in een object-definitie (ook wel een 'class' genoemd) de implementatie te geven van de operaties. De daadwerkelijke virtuele machine is een instantiatie van de object-definitie. Het is mogelijk om meerdere objecten te instantiëren uit één object-definitie.

Als voorbeeld wordt een object 'plaat' gedefinieerd. Voor 'plaat' worden een aantal operaties gedefinieerd met betrekking tot de breedte en het zwaartepunt van een object 'plaat'. Om deze operaties te definiëren wordt gebruik gemaakt van een ander object, 'afmeting':

```
objectDef  afmeting {
  Int posL, posR;     //Interne objecten: meest linkse en meest rechtste
                      //positie op de x-as. PosL en posR bezitten een
                      //operatie om de waarde op te vragen (waarde).
                      //De waarden van deze objecten bepalen de toestand
                      //van een object 'afmeting'.
  methods:            //method implementatie...
     lengte() {
        return (posR.waarde - posL.waarde);
     }
     midden() {
        return ((posL.waarde + posR.waarde) / 2);
     }
     ...
}

objectDef plaat {
  afmeting    dims; //Dims is een object van afmeting, en wordt
                    //gebruikt om een object plaat te karakteriseren.
  methods:
     breedte() { //breedte is lengte op x as.
        return (dims.lengte());
     }
     zwaartepunt() {
        return (dims.midden());
     }
     berekenPosR&PosL() {
        ... //niet verder uitgewerkt
     }
}
```

Een instantiatie van plaat wordt als volgt gedeclareerd:

```
plaat   Plaat1;
```

De breedte van de plaat:

```
Plaat1.breedte();    //stuur een message naar Plaat1; vraag de
                     breedte.
```

In dit voorbeeld komt de overeenkomst van het concept van specialisten en van objecten duidelijk naar voren. De definitie van een object en een specialist, voor wat betreft de interface-definitie (method specificatie) en de communicatie heeft grote overeenkomsten. De vertaling van specialist naar object kan op een relatief eenvoudige manier geschieden. Voor elke specialist wordt een object gedefinieerd. De operaties van een object komen overeen met de methoden die voor de specialist zijn gedefinieerd. Ontwerper en specialisten (objecten) kunnen nu eenvoudig communiceren door middel van de aanroep van een operatie. Voor de implementatie van deze operaties is gebruikt gemaakt van andere (hulp) objecten, elk met eigen operatie-definitie.

5. RESULTATEN

ESOVOS ondersteunt het vereenvoudigde ontwerpproces van een midsectie. De ontwerper kan met behulp van dit systeem de gevolgen van een ontwerpbeslissing berekenen. Binnen dit vereenvoudigde proces wordt aangenomen dat een beslissing wordt genomen alleen op grond van mechanische sterkte-overwegingen, en dat het ontwerp op een standaard wijze wordt opgebouwd. Het creatieve proces van ontwerpen, waarin deze beperkingen niet aanwezig hoeven te zijn, is in het ESOVOS-project buiten beschouwing gelaten.

Het systeem is gemodelleerd met behulp van specialisten. In principe wordt geen onderscheid gemaakt tusssen een kunstmatige (software) specialist en de menselijke ontwerper. Een specialist bezit een aantal methoden die de mechanische gevolgen kunnen berekenen van een ontwerpbeslissing. De ontwerper wordt ondersteund door de specialisten te implementeren met behulp van een software-systeem.

De implementatie van het specialistenmodel is met behulp van een object georiënteerde taal uitgevoerd. Object georiënteerd programmeren sluit nauw aan het specialistenmodel. Specialisten kunnen één op één vertaald worden naar objecten.

REFERENTIES

[Simon, 1973]:
Simon H. A., The Structure of Ill Structured Problems, Artificial Intelligence, 4, 1973, 181-201.

[Brown, 1986]:
Brown D. C., B. Chandrasekaran, Knowledge and Control for a Mechanical Design Expert System, Computer, July, 1986, 92-100.

[Mittal, 1986]:
Mittal S., C. L. Dym, M. Morjaria, PRIDE: An Expert System for the Design of Paper Handling Systems, Computer, July, 1986, 102-114.

[Stroustrup, 1986]:
Stroustrup B., The C++ Programming Language, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1986.

[Micallef, 1988]:
Micallef J., Encapsulation, Reusability and Extensibility in Object-Oriented Programming Languages, Journal of Object Oriented Programming, April/May, 1988, 12-36.

AUTEURSINDEX